

Coordenação editorial: Rita Helena Bröckelmann

Edição de texto: Vanessa Shimabukuro (coordenação), Nathália Fernandes de Azevedo, Valquíria Baddini Tronolone, Ana Carolina Suzuki Dias Cintra, Ana Elisa Sestini, Maissa Salah Bakri

Revisão técnica: Luciana Bolsoni Lourenço, Maurício S. Baptista, Poliana Fernanda Giachetto

Preparação de texto: Silvana Cobucci Leite, Karen Tibursky Alves Ventura, Claudia Padovani

Coordenação de design e projetos visuais: Sandra Botelho de Carvalho Homma

Projeto gráfico: Everson de Paula, Marta Cerqueira Leite

Capa: Everson de Paula, Marta Cerqueira Leite

Foto de capa: Fotomontagem com micrografias de diatomáceas vistas ao microscópio eletrônico de varredura e colorizadas artificialmente.

© Steve Gschmeissne/Science Photo Library/Latinstock

Coordenação de produção gráfica: André Monteiro, Maria de Lourdes Rodrigues

Coordenação de arte: Wilson Gazzoni Agostinho

Edição de arte: Ana Carlota Rigon

Assistência de produção: Denis Torquato

Edição de páginas especiais: William Hiroshi Taciro (coordenação), Alexandre de Paula, Fernanda Fencz, Alexandre Albuquerque da Silva, Vanessa Shimabukuro

Coordenação de revisão: Elaine Cristina del Nero

Revisão: Ana Maria C. Tavares, Ana Paula Luccisano, Ivana Alves, Kiel Pimenta, Mônica Rodrigues de Lima

Coordenação de pesquisa iconográfica: Ana Lucia Soares

Pesquisa iconográfica: Camila D'Angelo, Flávia Aline de Moraes, Thais R. Semprebom, Vera Lucia Barrionuevo

Coordenação de bureau: Américo Jesus

Tratamento de imagens: Fábio N. Precendo, Luiz C. Costa, Rubens M. Rodrigues

Pré-impressão: Alexandre Petreca, Everton L. de Oliveira, Helio P. de Souza Filho, Marcio Hideyuki Kamoto

Coordenação de produção industrial: Wilson Aparecido Troque

Impressão e acabamento:

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Amabis, José Mariano, 1947- .
Biologia / José Mariano Amabis, Gilberto
Rodrigues Martho. – 3. ed. –
São Paulo : Moderna, 2010.

Conteúdo: V. 1. Biologia das células. V. 2. Biologia
dos organismos. V. 3. Biologia das populações.
Bibliografia.

1. Biologia (Ensino médio) I. Martho, Gilberto
Rodrigues, 1952. II. Título.

10-02364

CDD-574.07

Índices para catálogo sistemático:

1. Biologia : Ensino médio 574.07

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Todos os direitos reservados

EDITORA MODERNA LTDA.

Rua Padre Adelino, 758 - Belenzinho
São Paulo - SP - Brasil - CEP 03303-904
Vendas e Atendimento: Tel. (0__11) 2602-5510
Fax (0__11) 2790-1501
www.moderna.com.br
2010

Impresso no Brasil

Apresentação

Prezado estudante, prezada estudante

A Biologia é uma das ciências de maior destaque e uma das mais promissoras do século XXI. Conhecer a natureza da vida é cada vez mais importante para o exercício pleno da cidadania e para ajudar a preservar o ambiente em que vivemos.

Neste volume são abordados, principalmente, os conhecimentos científicos sobre o mundo invisível a olho nu, que é o das moléculas e das células. Conhecer a organização microscópica dos seres vivos é a base para compreender as manifestações da vida em seus mais diversos níveis, desde o organismo até a biosfera.

Visando tornar o estudo mais motivador, apresentamos novas descobertas científicas, suas aplicações tecnológicas e os debates entre os cientistas nas fronteiras do conhecimento.

A Biologia é desafiadora, pois há muitos conceitos e processos a compreender, o que exige dedicação e paciência. Considere este livro um parceiro nessa ambiciosa empreitada que é desvendar os segredos da vida.

Note que, no início de cada seção dos capítulos, sugerimos habilidades a serem desenvolvidas e apresentamos os conceitos que consideramos mais importantes, destacados em azul. Eles são diretrizes para tornar seu estudo mais focalizado e eficiente.

O estudo requer rigor conceitual, mas procuramos tornar o texto do livro o mais leve e ilustrado possível.

O quadro **Ciência e cidadania** ajuda na compreensão do poder da ciência e da maneira como ela está presente no cotidiano de nossas vidas.

Faça as atividades propostas e teste seus conhecimentos; reveja os conceitos sempre que surgirem dúvidas. Para agilizar a revisão, consulte o índice remissivo, apresentado ao final do livro.

Temos certeza de que seus esforços serão recompensados. Além de se sentir seguro e preparado para provas e exames, você passará a ter uma visão mais ampla da natureza. Os conhecimentos que você irá adquirir o ajudarão a ver relações entre fatos aparentemente desconexos, e você sentirá o prazer de ser parte integrante desse enorme organismo que é o planeta Terra.

Os autores.

ORGANIZAÇÃO DESTE LIVRO

Abertura de Unidade

Cada Unidade reúne Capítulos, subordinados a um tema mais amplo.

Abertura de Capítulo

Cada Capítulo é composto de diversas Seções, que abordam itens do tema tratado. Na página de abertura do Capítulo são apresentados o assunto em pauta e a ideia central de cada Seção.



Alguns temas foram destacados em infografias, recursos gráfico-visuais em que imagens são integradas a textos curtos, sintetizando informações. A infografia também apresenta questões relevantes sobre o tema proposto.

Abertura de Seção

No início de cada Seção são apresentadas as habilidades sugeridas e a lista de conceitos mais relevantes do tema tratado.



Questões para pensar e discutir

Questões desafiadoras e/ou sugestões de pesquisas e atividades, úteis para discussões de fechamento dos assuntos.

Vestibulares pelo Brasil

Em cada Capítulo há um elenco de questões extraídas de exames vestibulares do país.



Temas em destaque **Ciência e cidadania** – Textos que destacam a presença da ciência em nosso cotidiano e relacionam-se ao exercício da cidadania. Contém um **Guia de leitura** para orientar o estudo.

SUMÁRIO GERAL

Unidade A A natureza da vida

Capítulo 1

Biologia: ciência e vida

16

Seção

1.1 A origem da Biologia e as bases do pensamento científico, 18

1. A origem da Biologia _____ 18
2. A origem do racionalismo _____ 19
Hipócrates, 19
Aristóteles, 20
3. O racionalismo na Idade Média e no Renascimento _____ 21
A revolução científica, 22

1.2 Procedimentos em ciência, 23

1. Uma nova forma de estudar a natureza _____ 23
 2. O método hipotético-dedutivo _____ 24
Falseabilidade de uma hipótese, 26
Teoria, hipótese e lei em ciência, 27
 3. A comunicação em ciência _____ 27
- **Ciência e cidadania**
Ciência e tecnologia _____ 29

1.3 Características dos seres vivos, 32

1. O que é vida? _____ 32
2. Composição química dos seres vivos _____ 32
3. Organização da matéria viva _____ 33
4. Metabolismo _____ 34
5. Reação e movimento _____ 35
6. Crescimento e reprodução _____ 35
7. Hereditariedade _____ 36
8. Variabilidade genética, seleção natural e adaptação _____ 37

1.4 Níveis de organização biológica, 38

- Os níveis hierárquicos da vida _____ 38
- Atividades _____ 40

Capítulo 2

Origem da vida na Terra

42

Seção

2.1 Abiogênese versus biogênese, 43

1. A teoria da geração espontânea _____ 43
2. O experimento de Redi _____ 44
3. O experimento de Joblot _____ 45
4. Needham versus Spallanzani _____ 45
5. Pasteur e a derrubada da abiogênese _____ 46

➤ **Ciência e cidadania**

Pesquisas sobre geração espontânea levam a novas tecnologias _____ 46

› Ciência e cidadania

Caçadores de micróbios promovem avanços na Medicina _____ 48

2.2 Teorias modernas sobre a origem da vida, 50

1. A formação da Terra _____ 50
2. Panspermia e evolução química _____ 50
3. Quais eram as condições na Terra primitiva? _____ 51
4. Primeiros vestígios de vida na Terra _____ 52
5. Origem pré-biótica de compostos orgânicos _____ 52
O experimento de Miller, 52
6. O “mundo do RNA” _____ 53
7. Evolução dos processos energéticos _____ 54
Hipótese heterotrófica, 54
Hipótese autotrófica, 54
Origem da fotossíntese, 55
Origem da respiração aeróbia, 56

2.3 Evolução e diversificação da vida, 57

1. Origem da célula eucariótica _____ 57
2. Hipótese endossimbiótica ou simbiótica _____ 58
3. Origem da multicelularidade _____ 59
- › Atividades _____ 60

Capítulo 3

Bases moleculares da vida _____ 62

Seção

3.1 A Química e a vida, 64

1. O desenvolvimento da Bioquímica _____ 64
2. Componentes da matéria viva _____ 64
Principais elementos químicos dos seres vivos, 64
Substâncias químicas dos seres vivos, 65

3.2 A água e os sais minerais nos seres vivos, 65

1. Estrutura molecular da água _____ 65
2. Importância da água para a vida _____ 66
A água como solvente, 66
A água nas reações químicas dos seres vivos, 66
A água como moderador de temperatura, 66
Importância biológica da coesão e adesão da água, 67
3. Importância biológica dos sais minerais _____ 67

› Ciência e cidadania

Água: um recurso cada vez mais precioso _____ 68

3.3 Glicídios, 70

1. Características gerais dos glicídios _____ 70
2. Classificação dos glicídios _____ 70

3.4 Lipídios, 72

1. O que são lipídios _____ 72

2.	Tipos de lipídio	72
	Glicerídios, 72	
	Ceras, 73	
	Esteroides, 74	
	Fosfolipídios, 74	
	Carotenoides, 74	
	› Ciência e cidadania	
	Colesterol e saúde	75
3.5	Proteínas, 76	
1.	O que são proteínas	76
	Ligação peptídica, 77	
	Em que diferem as proteínas?, 77	
2.	Arquitetura das proteínas	77
	Desnaturação das proteínas, 78	
	› Ciência e cidadania	
	Malnutrição e subnutrição	79
3.	Funções das proteínas	80
	Enzimas, 81	
	Fatores que afetam a atividade das enzimas, 82	
	› Ciência e cidadania	
	“Teste do pezinho” pode impedir manifestação de doença grave	83
3.6	Vitaminas, 84	
	O que são vitaminas	84
3.7	Ácidos nucleicos, 86	
1.	Tipos de ácidos nucleicos	86
2.	Estrutura dos ácidos nucleicos	86
›	Atividades	88

Unidade B Organização e processos celulares

Capítulo 4

A descoberta da célula viva

92

Seção

4.1 O mundo microscópico, 93

1.	Microscópio simples e microscópio composto	93
2.	Origem do termo “célula”	94
3.	Teoria celular	94

4.2 A célula observada ao microscópio óptico, 96

1.	Partes fundamentais da célula	96
2.	Como funcionam os microscópios ópticos	97
	Poder de resolução e limite de resolução, 97	
3.	Técnicas para observação ao microscópio óptico	98
	Observação vital, 98	
	Fixação e coloração das células, 99	

4.3 A célula observada ao microscópio eletrônico, 102

1.	Como funcionam os microscópios eletrônicos	102
	Microscópio eletrônico de transmissão, 102	
	Microscópio eletrônico de varredura, 103	

2. Técnicas para observação ao microscópio eletrônico	103
Fixação, 103	
Inclusão, corte com o ultramicrotomo e coloração, 104	
3. Descobrimos o interior das células vivas	104
4.4 Outros métodos para o estudo da célula, 106	
1. Fracionamento celular	106
2. Utilização de substâncias radioativas	106
Radioautografia, 107	
Atividades	108

Capítulo 5

Fronteiras da célula 110

Seção

5.1 Membrana plasmática, 112	
Características gerais da membrana plasmática	112
Organização molecular da membrana plasmática, 112	
5.2 Permeabilidade celular, 114	
Passagem de substâncias pela membrana plasmática	114
Transporte passivo, 114	
Transporte ativo, 116	
5.3 Endocitose e exocitose, 118	
O transporte por meio de bolsas membranosas	118
Endocitose, 118	
Exocitose, 119	
5.4 Envoltórios externos à membrana plasmática, 120	
1. Glicocálix	120
2. Paredes celulares	120
Parede bacteriana, 120	
Parede celulósica, 121	
Atividades	122

Capítulo 6

Citoplasma e organelas citoplasmáticas 127

Seção

6.1 O citoplasma, 128	
Organização geral do citoplasma	128
O citoplasma das células procarióticas, 128	
O citoplasma das células eucarióticas, 130	
6.2 Organelas citoplasmáticas, 131	
1. Retículo endoplasmático	131
Funções do retículo endoplasmático granuloso, 131	
Funções do retículo endoplasmático não granuloso, 132	
2. Complexo golgiense	132
Secreção celular, 132	
3. Lisossomos	134
Função heterofágica dos lisossomos, 135	
Função autofágica dos lisossomos e rejuvenescimento celular, 136	
4. Peroxissomos	136

› Ciência e cidadania

Os pequenos lisossomos e seus grandes efeitos	137
5. Vacúolos da célula vegetal	139
6. Citoesqueleto	139
Microtúbulos, 140	
Microfilamentos ou filamentos de actina, 140	
Filamentos intermediários, 140	
Citoesqueleto e movimento celular, 141	
7. Centríolos	142
8. Cílios e flagelos	142
9. Mitocôndrias	143
Autoduplicação das mitocôndrias, 144	
10. Plastos	144
Cloroplastos, 145	
Cromoplastos e leucoplastos, 145	
Autoduplicação dos plastos, 145	
› Atividades	146

Capítulo 7

Núcleo e cromossomos 152

Seção

7.1 Componentes do núcleo celular, 153

1. O núcleo celular	153
2. Carioteca ou envelope nuclear	154
Organização do poro nuclear, 154	
3. Cromatina	154
4. Nucléolos e nucleoplasma	155

7.2 Cromossomos da célula eucarótica, 155

1. Cromossomos	155
2. Arquitetura do cromossomo eucariótico	155
3. Características gerais dos cromossomos	156
Cromátides-irmãs, 156	
Centrômero e classificação dos cromossomos, 156	
Telômeros, 157	
4. Cromossomos e genes	157
5. Cromossomos homólogos	158
Células diploides e células haploides, 158	

7.3 Cromossomos humanos, 159

1. Citogenética humana	159
2. Cariótipo humano normal	160
› Ciência e cidadania	
Alterações cromossômicas na espécie humana	161
› Atividades	162

Capítulo 8

Divisão celular: mitose e meiose 166

Seção

8.1 Importância da divisão celular, 168

1. Por que as células se dividem?	168
-----------------------------------	-----

2.	O conceito de ciclo celular	168
	A interfase, 169	
8.2	Mitose, 171	
1.	Eventos da divisão celular	171
2.	Fases da mitose	172
	Prófase, 172	
	Metáfase, 173	
	Anáfase, 174	
	Telófase, 174	
3.	Citocinese	176
8.3	Regulação do ciclo celular, 177	
	Pontos de checagem do ciclo celular	177
	› Ciência e cidadania	
	O que é câncer?	178
8.4	Meiose, 180	
	Prófase I, 181	
	Metáfase I, 182	
	Anáfase I, 183	
	Telófase I, 183	
	Citocinese I, 183	
	Meiose II, 183	
	› Ciência e cidadania	
	Falhas na meiose levam a alterações cromossômicas	186
	› Atividades	187

Unidade C O metabolismo celular

Capítulo 9

Metabolismo energético 192

Seção

9.1	Energia para a vida, 194	
1.	A energia dos alimentos	194
2.	Anabolismo e catabolismo	195
3.	Reações endergônicas e reações exergônicas	195
4.	Energia de ativação e enzimas	196
9.2	ATP, a “moeda energética” do mundo vivo, 196	
	Estrutura química do ATP	196
9.3	Respiração celular, 199	
1.	Etapas da respiração celular	199
	Glicólise, 199	
	Ciclo de Krebs ou ciclo do ácido cítrico, 200	
	Fosforilação oxidativa, 201	
2.	Fontes de energia para a respiração celular: glicídios e ácidos graxos	203
9.4	Fermentação, 205	
	A importância da fermentação	205
	› Ciência e cidadania	
	A importância da fermentação para a humanidade	206

9.5 Fotossíntese, 208

1. Aspectos gerais da fotossíntese 208
2. Cloroplasto, a sede da fotossíntese 209
3. Etapas da fotossíntese 210
 - Absorção de luz, 210
 - Transporte de elétrons, 210
 - Produção de ATP, 211
 - Fixação do carbono, 211
 - Destino dos produtos do ciclo das pentoses, 213

9.6 Quimiossíntese, 213

- › Atividades 214

Capítulo 10

O controle gênico das atividades celulares 219

Seção

10.1 Natureza química dos genes, 220

1. A descoberta do DNA 220
2. Estrutura molecular do DNA 220
3. Como o DNA armazena informações: uma analogia 222
4. Duplicação semiconservativa do DNA 223

10.2 Genes e RNA: a transcrição gênica, 224

1. Relação entre genes, cromossomos e DNA 224
2. Transcrição gênica 225
3. Os limites de um gene 226
4. Principais tipos de RNA 226
 - RNA ribossômico, 226
 - RNA transportador, 226
 - RNA mensageiro, 227
5. O código genético 227

10.3 Mecanismo de síntese das proteínas, 228

- A tradução gênica 228
 - Início da síntese da cadeia polipeptídica, 228
 - Crescimento da cadeia polipeptídica, 229
 - Término da síntese da cadeia polipeptídica, 231
 - Polirribossomos (ou polissomos), 231
- › Atividades 232

Unidade D A diversidade celular dos animais

Capítulo 11

Tecidos epiteliais e tecidos conjuntivos 236

Seção

11.1 Estrutura e função dos tecidos epiteliais, 238

1. Epitélios de revestimento 238
2. Epitélios glandulares 239
 - Origem das glândulas, 240

11.2 Estrutura e função dos tecidos conjuntivos, 241

1. Características gerais dos tecidos conjuntivos 241
2. Tecidos conjuntivos propriamente ditos 242
 - Células dos tecidos conjuntivos propriamente ditos, 243

11.3 Tecidos epitelial e conjuntivo na pele humana, 244

1. Características estruturais da pele _____ 244
A epiderme, 245
A derme da pele humana, 246
 2. Funções da pele humana _____ 247
Proteção, 247
Regulação da temperatura corporal, 247
Função sensorial, 247
 3. Anexos epidérmicos: pelos, unhas e glândulas _____ 248
Pelos, 248
Unhas, 248
Glândulas sebáceas e glândulas sudoríparas, 248
- › **Ciência e cidadania**
Pele bronzeada é sinal de saúde? _____ 249

11.4 Tecidos conjuntivos especiais, 250

1. Tecido cartilaginoso _____ 250
 2. Tecido ósseo _____ 251
 3. Tecido hematopoiético _____ 252
- › Atividades _____ 253

Capítulo 12

Tecido sanguíneo

255

Seção

12.1 O sangue e a origem das células sanguíneas, 256

1. Características do sangue _____ 256
2. Tecidos hematopoiéticos ou hemocitopoéticos _____ 257

12.2 Componentes do sangue humano, 259

1. Plasma sanguíneo _____ 259
 2. Hemácias (glóbulos vermelhos) _____ 259
Hemoglobina, 260
 3. Leucócitos (glóbulos brancos) _____ 262
Neutrófilos, 262
Eosinófilos (acidófilos), 262
Basófilos, 262
Monócitos, 263
Linfócitos, 263
 4. Plaquetas (trombócitos) _____ 263
A coagulação do sangue, 264
- › Atividades _____ 265

Capítulo 13

Tecidos musculares e tecido nervoso

267

Seção

13.1 Tecidos musculares, 268

1. Tecido muscular estriado esquelético _____ 268
Estrutura da fibra muscular estriada esquelética, 269
Componentes da fibra muscular, 270
Organização das miofibrilas, 271
2. Tecido muscular estriado cardíaco _____ 272

3.	Tecido muscular não estriado (ou tecido muscular liso)	273
›	Ciência e cidadania	
	Músculos e exercício físico	273
13.2	Tecido nervoso, 276	
1.	Organização do sistema nervoso	276
2.	Células do tecido nervoso	277
	Neurônios, 277	
	Substância cinzenta e substância branca, 279	
	Gliócitos, 279	
	Neurofibras mielinizadas e não mielinizadas, 280	
	Sinapses nervosas, 282	
›	Atividades	283

Unidade E Reprodução e desenvolvimento

Capítulo 14

Reprodução humana

287

Seção

14.1 Sistema genital feminino, 288

1.	Pudendo feminino	288
2.	Vagina e útero	288
3.	Tubas uterinas (ovidutos) e ovários	289
	Formação dos óvulos: ovulogênese, 289	
	Ovulação, 290	

14.2 Sistema genital masculino, 291

1.	Pênis, escroto e testículos	291
	Formação dos espermatozoides: espermatogênese, 292	
2.	Ductos deferentes, glândulas seminais e próstata	293
	Eliminação dos espermatozoides: ejaculação, 293	

14.3 Fecundação, 293

› Ciência e cidadania

A fecundação <i>in vitro</i>	296
------------------------------	-----

› Ciência e cidadania

O controle da reprodução humana	297
---------------------------------	-----

› Atividades	301
--------------	-----

Capítulo 15

Noções de embriologia animal

304

Seção

15.1 Segmentação e formação da blástula, 306

1.	As primeiras divisões do zigoto	306
2.	Distribuição de vitelo nos ovos	306
3.	Tipos de segmentação	307
	Segmentação holoblástica (total), 307	
	Segmentação meroblástica (parcial), 308	
4.	Formação da blástula	308

15.2 Gastrulação, 309

1.	Características gerais da gastrulação	309
----	---------------------------------------	-----

2. Formação dos folhetos germinativos	310
15.3 Formação de tecidos e órgãos, 311	
1. Formação da nêurula	311
Tubo nervoso, 311	
Notocorda, 311	
Mesoderma e endoderma, 312	
2. A embriologia do anfioxo tomada como exemplo	313
3. Anexos embrionários	316
Saco vitelínico, 316	
Âmnio, 316	
Alantoide, 316	
Cório, 317	
Atividades	318

Capítulo 16

Desenvolvimento embrionário de mamíferos 320

Seção

16.1 Desenvolvimento embrionário em diferentes grupos de mamíferos, 322	
1. Monotremados	322
2. Marsupiais	322
3. Placentários	323
16.2 Embriologia dos mamíferos placentários, 324	
1. Segmentação e formação do blastocisto	324
2. Folhetos germinativos e anexos embrionários	326
Formação dos folhetos germinativos, 326	
Formação dos tecidos extraembrionários, 327	
3. Nidação	327
Gravidez ectópica, 329	
Gonadotrofina coriônica, 329	
4. Formação da placenta	330
16.3 Parto, 332	
O nascimento de um ser humano	332
Ciência e cidadania	
Compartilhando o útero materno: gêmeos humanos	334
Atividades	338

Respostas, 341

Siglas de vestibulares, 355

Bibliografia, 357

Índice remissivo, 358

Capítulo

1

Biologia: ciência e vida

Uma nova visão do mundo

O desenvolvimento da ciência levou a humanidade não apenas a compreender a natureza, mas também a interagir com ela em um nível nunca antes imaginado.

Compreender a natureza da ciência, seus alcances e suas limitações auxilia os cidadãos a tomar decisões de interesse público.

Este capítulo traz um breve histórico das origens da Biologia como ciência e discute o processo de construção do conhecimento científico.

1.1 A origem da Biologia e as bases do pensamento científico

A Biologia é o ramo das ciências naturais que estuda a vida. Para a ciência, os fatos da natureza devem ser compreendidos pela ação conjunta da observação e da razão.

1.2 Procedimentos em ciência

O objetivo da ciência é fornecer explicações para os fenômenos naturais. Essas explicações são conferidas por meio de procedimentos rigorosos, baseados na observação da natureza e na formulação e teste de hipóteses.

1.3 Características dos seres vivos

Os seres vivos compartilham uma série de características típicas, entre elas a composição química peculiar, a organização celular, a reprodução e a capacidade de adaptação e evolução.

1.4 Níveis de organização biológica

A vida na Terra se manifesta como um sistema organizado em níveis hierárquicos, que vão do mundo submicroscópico das moléculas à totalidade da biosfera.

Há cerca de 2.500 anos

Sábios gregos começaram a separar o estudo da natureza das questões religiosas, passo fundamental para o desenvolvimento da ciência. Surgia assim o pensamento naturalista, que tentava explicar os fenômenos naturais com base em fatos e processos da própria natureza e não em termos místicos e sobrenaturais, como ocorria em muitas sociedades primitivas.

CLEITON NASS



Aristóteles (384-322 a.C.) foi pioneiro no estudo dos seres vivos e um dos primeiros a classificá-los.

350 a.C.

Aristóteles apresenta uma das primeiras classificações dos animais.

170

Galeno descobre que as artérias transportam sangue e não ar, como se pensava.

1663

Robert Hooke observa células de cortiça ao microscópio.

A revolução científica

Na Europa, durante os séculos XV, XVI e XVII, ocorreram mudanças radicais na maneira de encarar a natureza e foram lançadas as bases das concepções científicas modernas.

A ciência hoje

Atualmente o conhecimento científico ultrapassa as fronteiras dos laboratórios e atinge toda a sociedade. A ciência terá papel decisivo nos muitos desafios que a humanidade terá de enfrentar neste século e nos futuros.

Lamarck (1744-1829) foi um dos primeiros a ressaltar a natureza única dos seres vivos, conceito que ajudou a Biologia a se firmar como ciência.

Ernst Mayr (1904-2005) foi um dos artífices da moderna teoria da evolução da vida e do conceito biológico de espécie.

Francis Bacon (1561-1626) defendia a observação acurada da natureza como o primeiro passo para a compreensão dos fenômenos naturais.

Para pensar

Transgênicos, aquecimento global, clonagem e identificação de pessoas pelo DNA: você acha que esses temas têm algo a ver com a ciência?

Esta linha do tempo não foi organizada em escala temporal.

1839

Schleiden e Schwann propõem a teoria celular.

1858

Charles Darwin concebe uma teoria de evolução biológica baseada na seleção natural.

1865

Gregor Mendel descobre as leis básicas da hereditariedade.

1953

Watson e Crick propõem a estrutura em dupla-hélice do DNA.

2003

O projeto Genoma Humano é completado.

A origem da Biologia e as bases do pensamento científico

» Habilidades sugeridas

► Compreender a ciência como uma realização humana voltada à aquisição de conhecimentos sobre a natureza, com poderes e limitações, e valorizar seu papel na sociedade contemporânea.

► Compreender o papel dos filósofos gregos na origem do modo científico de pensar e proceder.

» Conceitos principais

- Biologia
- racionalismo

1 A origem da Biologia

Você já pensou que a característica mais notável de nosso planeta é estar repleto de vida? Do alto das montanhas às profundezas oceânicas, nos desertos, nas geleiras e em fendas profundas de rochas, encontramos seres vivos em plena atividade. O estudo da vida, em seus mais diversos aspectos e manifestações, constitui o ramo das ciências naturais denominado **Biologia** (do grego *bios*, vida, e *logos*, estudo).

Embora o interesse das pessoas pelos seres vivos seja muito antigo, a Biologia só se estabeleceu como ramo independente da ciência entre o final do século XVIII e o início do século XIX. Antes disso, um conceito abstrato de vida ainda não existia e os cientistas limitavam-se a estudar determinados aspectos dos animais e dos vegetais, como sua classificação e anatomia. A maioria acreditava na teoria da geração espontânea, segundo a qual animais como os sapos, por exemplo, podiam surgir espontaneamente a partir de materiais inanimados, como o lodo dos brejos onde vivem. Também havia a crença de que algumas espécies podiam dar origem a outras. Assim, pensava-se que certas plantas produziam carneiros no interior de seus frutos e, apesar de ninguém ignorar que sapos e carneiros têm filhotes, não se excluía a possibilidade de que eles pudessem surgir de outras maneiras, além da reprodução. Hoje sabemos que seres vivos somente se originam pela reprodução de seres de sua espécie. (Fig. 1.1)

Os cientistas do século XVIII ainda não tinham uma visão unificada dos seres vivos e dos processos biológicos e classificavam as entidades da natureza em três grandes reinos: animal, vegetal e mineral. Essa separação mostra que os vegetais eram considerados tão diferentes dos animais quanto estes são dos minerais. O filósofo francês Michel Foucault (1926-1984) expressou muito bem esse fato ao dizer que “[...] até o fim do século XVIII, a vida não existe. Existem apenas seres vivos”.



Figura 1.1 Ilustração feita pela artista Una Woodruff (1979), inspirada em relatos atribuídos ao naturalista romano Plínio (23-79 d.C.), que mostra insetos tricópteros surgindo de gotas de orvalho. Essa crença de que matéria inanimada poderia dar origem a seres vivos ficou conhecida como abiogênese.

Ao longo do século XVIII, o grande avanço do conhecimento sobre a natureza mostrou que animais e vegetais compartilham características únicas, que os distinguem completamente dos minerais. Essas características são, principalmente, a organização corporal complexa e a capacidade de crescer, de se reproduzir e mesmo de morrer. Com base nesses parâmetros, o naturalista francês Lamarck propôs, em 1778, a divisão da natureza em dois grandes grupos: o dos minerais, que ele chamou de **seres inorgânicos** (sem organização), e o dos animais e vegetais, denominados **seres orgânicos** (com organização corporal).

Assim surgia a Biologia como ciência. Além do próprio Lamarck, os naturalistas alemães Gottfried Reinhold Treviranus (1776-1837) e Lorenz Oken (1779-1851) sugeriram, independentemente um do outro, a utilização do termo Biologia para designar o estudo dos seres vivos. (Fig. 1.2)

Figura 1.2 Retrato de Jean-Baptiste Pierre Antoine de Monet (1744-1829), portador do título de Cavaleiro de Lamarck e por isso conhecido na literatura científica como Lamarck. Esse importante naturalista forneceu contribuições de destaque na área da Biologia, dentre as quais uma das primeiras teorias de evolução biológica. (Litografia de Louis Léopold Boilly.)



2 A origem do racionalismo

Há cerca de 2.500 anos, alguns sábios gregos deram um passo fundamental para o surgimento e o desenvolvimento da ciência ao fazer uma distinção entre o estudo da natureza e as questões religiosas. Nasceu assim o pensamento naturalista, que tentava explicar os fenômenos naturais com base em fatos e processos da própria natureza, e não em termos místicos e sobrenaturais, como se costumava fazer nas sociedades antigas.

O pensamento naturalista desenvolveu-se entre os séculos VII e IV a.C. em Jônia, conjunto de colônias gregas localizadas nas ilhas e no litoral asiático do mar Egeu, na atual Turquia. Os filósofos jônios (ou iônios) foram os primeiros a valorizar explicações naturais para os fenômenos físicos, tendo por base a observação dos fatos e o pensamento racional. Admite-se que Tales de Mileto (624-548 a.C.) foi um dos fundadores desse tipo de filosofia da natureza, que ficou conhecida como ciência grega.

Tales e seus seguidores assumiam a existência da causalidade, afirmando que todo evento possui uma causa natural que inevitavelmente produz um efeito, o qual não é alterado por forças sobrenaturais. Surgia assim a ideia de que havia uma ordem natural no universo, com princípios e leis inerentes à própria natureza.

Os filósofos jônios também admitiam que a mente humana era capaz de compreender os princípios e as leis da natureza, deduzindo-os a partir da observação dos fatos e do raciocínio. Essa maneira de pensar, segundo a qual o funcionamento do universo deve ser compreendido pela observação e pela razão, e não por revelação divina, ficou conhecida como **racionalismo** e cerca de 2 mil anos mais tarde deu origem à ciência moderna.

O racionalismo foi aplicado à interpretação do mundo vivo quando os estudiosos voltaram sua atenção para a estrutura interna dos animais com o objetivo de entender sua organização e funcionamento. Um dos primeiros a estudar a estrutura dos seres vivos foi Alcmeon, discípulo de Pitágoras (580-497 a.C.), que viveu entre 560 e 500 a.C. na antiga cidade grega de Crotona, localizada no sudeste da Itália atual. Entre os estudos de Alcmeon destacam-se descrições detalhadas do nervo óptico e do desenvolvimento do embrião de galinha no interior do ovo.

Hipócrates

Um dos nomes mais importantes associado à introdução do racionalismo no estudo dos seres vivos é o de Hipócrates (460?-377? a.C.), que viveu em Cós, ilha grega localizada a cerca de 4 km da costa da atual Turquia. Na opinião de Hipócrates, que ficou conhecido como “Pai da Medicina”, a saúde do corpo depende do funcionamento adequado e harmonioso de suas partes e, quando isso não ocorre, sobrevêm as doenças. O papel do médico, segundo ele, é observar atentamente o enfermo para localizar as falhas de funcionamento e, então, programar ações apropriadas para corrigi-las. Essas ações não consistiam em rezas ou sacrifícios para afastar os demônios, como era comum na época, mas sim em propiciar ao paciente descanso, higiene adequada, ar fresco e alimentação saudável. Assim, o tratamento ideal consistia em deixar as leis da natureza efetuarem a cura, afastando qualquer interpretação de ordem mística.





CCI ARCHIVES/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

Figura 1.3 Conhecido como “Pai da Medicina”, Hipócrates tinha ideias revolucionárias sobre as causas das doenças e relacionava seu aparecimento à falta de higiene. (Gravura do século XVII.)

O grande mérito de Hipócrates foi trazer uma visão naturalista à Medicina, área até então dominada por magia e superstições. Suas ideias tiveram grande influência no desenvolvimento da Medicina ocidental. Até hoje, durante a cerimônia de formatura, os médicos fazem o chamado “juramento de Hipócrates”, no qual, entre outras coisas, prometem manter-se fiéis “aos preceitos da honestidade, da caridade e da ciência” ao exercer sua profissão. Apesar de os historiadores afirmarem que esse juramento foi escrito cerca de seis séculos depois da morte de Hipócrates, ele sem dúvida expressa bem as ideias do filósofo grego. (Fig. 1.3)

O racionalismo de Hipócrates também aparece em sua explicação para a transmissão das características físicas de pais para filhos, até então abordada de forma mística ou sobrenatural. De acordo com Hipócrates, cada parte do corpo produziria partículas (gêmulas), que seriam transmitidas para a descendência no momento da concepção. Isso explicaria a hereditariedade. A partir das gêmulas recebidas dos pais, o novo ser formaria as diversas partes de seu corpo.

Essa explicação, conhecida como pangênese, permaneceu como a única teoria geral de hereditariedade até o final do século XIX, sendo inclusive adotada pelo grande naturalista Charles Darwin. A pangênese só foi abandonada no início do século XX, com o surgimento da Genética, que é o estudo da transmissão das características hereditárias. A respeito dessa hipótese de Hipócrates, o biólogo John Moore (1915-2002) comentou: “Embora não pareça, a hipótese de Hipócrates para a hereditariedade foi um grande começo: ele identificou um problema científico (possivelmente o passo mais difícil de todos), propôs uma explicação (hipótese) e escreveu-a de uma maneira compreensível. A elaboração de uma análise assim, há dois mil e quinhentos anos, é algo excepcional”.

Aristóteles

O estudo dos seres vivos na Antiguidade atingiu seu ponto mais alto com o filósofo grego Aristóteles, que, entre outros feitos, descreveu as características e os hábitos de cerca de 500 tipos ou “espécies” de animais. Além disso, ele reconheceu que as espécies podiam ser agrupadas em categorias, ou seja, classificadas de acordo com suas semelhanças.

Aristóteles notou, muito acertadamente, que certas semelhanças entre as espécies animais eram superficiais e não deviam ser levadas em conta na classificação. Os golfinhos, por exemplo, têm semelhanças corporais e de habitat com os peixes, mas diferem deles em aspectos importantes. Os estudos de Aristóteles mostraram que os golfinhos têm pulmões, respiram ar e por isso morrem se mantidos submersos por muito tempo; têm sangue quente e seus embriões desenvolvem-se no interior do corpo materno, alimentando-se através da placenta. Com base nessas observações, o filósofo grego concluiu que os golfinhos deviam ser agrupados com os mamíferos e não com os peixes. Nessa interpretação, ele estava quase dois mil anos à frente de seu tempo: na Europa, até a Idade Média, os golfinhos, assim como as baleias, foram considerados peixes.

Aristóteles foi o primeiro a fazer perguntas relevantes sobre os animais do ponto de vista da Biologia e a fornecer algumas respostas até hoje adotadas nesta disciplina; por isso, é considerado o fundador da Zoologia, o ramo da Biologia que estuda os animais. Ele utilizou, de forma pioneira, dois passos fundamentais do procedimento científico: coletar informações na natureza e refletir racionalmente sobre elas. (Fig. 1.4)

Um discípulo de Aristóteles, Teofrasto (371?-286? a.C.), deu continuidade ao trabalho de seu mestre, descrevendo cuidadosamente cerca de quinhentas espécies de plantas. Por isso, é considerado o fundador da Botânica, o ramo da Biologia que estuda as plantas.



HULTON ARCHIVE/GETTY IMAGES

Figura 1.4 Aristóteles (384-322 a.C.) foi uma das figuras mais significativas da ciência grega e fez contribuições importantes para a Biologia. (Ilustração de 1754, autor desconhecido.)

Nos séculos que se seguiram à época de Aristóteles, com a decadência da civilização grega e a ascensão do Império Romano, houve grande declínio no estudo dos seres vivos. A maioria dos estudiosos romanos contentava-se em coletar e preservar as descobertas do passado, com pouca contribuição original para o estudo da natureza.

Um dos últimos pesquisadores do mundo antigo a realizar estudos importantes sobre os seres vivos foi o médico greco-romano Galeno (130-200 d.C.), que viveu em Roma e atuou como cirurgião de gladiadores. Apesar da prática habitual dos cruéis e sangrentos combates nas arenas, os romanos proibiam a dissecação de cadáveres; Galeno só tinha oportunidade de observar a anatomia humana nos gladiadores feridos que tratava. Grande parte de seus estudos anatômicos fundamentavam-se em dissecações de animais, como cachorros, ovelhas e macacos. Com base nesses estudos, Galeno escreveu uma extensa obra sobre anatomia e fisiologia humanas. Apesar de apresentar vários erros, decorrentes sobretudo da impossibilidade de estudar diretamente o corpo humano, essa obra exerceu influência na Medicina até o século XVI. (Fig. 1.5)

No final do século IV, o Império Romano Ocidental estava em franco declínio e a Igreja católica era a única instituição estável e poderosa na Europa. O ensino formal era ministrado quase que exclusivamente em mosteiros e escolas religiosas, tendo como foco o estudo da Bíblia. O interesse pelo estudo da natureza havia praticamente desaparecido, pois, na visão cristã da época, o importante não era o mundo dos sentidos e sim o mundo divino, que só podia ser alcançado por revelação bíblica. A ideia dos antigos filósofos gregos de que havia leis naturais, que podiam ser desvendadas pela observação e pela razão, foi substituída pela visão de um mundo constantemente sujeito à intervenção milagrosa de Deus e dos santos.

A partir do século XI, principalmente em decorrência das incursões para a reconquista das terras santas no Oriente Médio, então sob domínio árabe, os europeus tomaram conhecimento de alguns escritos de filósofos gregos traduzidos para o árabe nos séculos IX e X e comentados por pensadores muçulmanos. A redescoberta dos trabalhos gregos permitiu o desenvolvimento da Escolástica, um método que tentava conciliar o racionalismo grego, especialmente as ideias de Aristóteles e de Platão, com a Bíblia. O objetivo central da Escolástica era fornecer evidências da existência de Deus. Alguns escolásticos notáveis foram o bispo e teólogo inglês Robert Grosseteste (1168?-1253) e um de seus discípulos, o filósofo e monge franciscano inglês Roger Bacon (1214-1294); eles aplicaram e desenvolveram métodos aristotélicos de estudo da natureza que podem ser considerados precursores de procedimentos da ciência moderna.

A evolução dos estudos escolásticos foi praticamente interrompida em meados do século XIV, principalmente devido à peste negra, doença que dizimou cerca de um terço da população europeia, sobretudo nas cidades. A recorrência de novos surtos da peste e de outras doenças desestruturou as sociedades urbanas e provocou o contínuo declínio da população da Europa por cerca de um século, contribuindo para a interrupção dos estudos da natureza.



Figura 1.5

Arte do século XIX que retrata Galeno durante uma palestra, em Roma, na qual se utilizava de esqueletos de animais para suas explicações. (Ilustração do livro *Vies des Savants Illustres*. Savants de L'Antiquité, Librairie Internationale, Paris, 1866.)

A revolução científica

A chamada **revolução científica** foi um movimento que ocorreu na Europa durante os séculos XV, XVI e XVII. Nesse período, a forma de encarar a natureza passou por mudanças radicais que estabeleceram as bases das concepções científicas modernas. A revolução científica está associada ao Renascimento, o amplo movimento intelectual europeu que procurou recuperar valores e modelos da Antiguidade greco-romana, renovando as artes plásticas, a arquitetura, as letras e a organização política e econômica da sociedade.

O Renascimento começou na Itália, por volta do século XIV, e intensificou-se com a tomada da cidade de Constantinopla pelos turcos otomanos, em 1453. Esse evento pôs fim a 1.100 anos de existência do Império Romano Bizantino e provocou o êxodo de estudiosos de Constantinopla para o oeste europeu, particularmente a Itália. Essa migração de intelectuais bizantinos propiciou a reintrodução de muitos textos greco-romanos na Europa ocidental.

Durante os séculos XV e XVI, a intelectualidade europeia estava deslumbrada com a restauração do antigo conhecimento sobre a natureza e com a facilidade de disseminação das novas ideias por meio da forma de impressão que o alemão Johann Gensfleisch Gutenberg (1397?-1468) inventara em 1440. Os textos clássicos eram, então, a mais importante fonte de conhecimento; as especulações que eles traziam sobre fenômenos naturais eram muitas vezes aceitas dogmaticamente, como se fossem verdades incontestáveis. Entretanto, essa idolatria à autoridade dos antigos logo foi questionada pelos novos estudiosos da natureza. (Fig. 1.6)

Um dos primeiros a desafiar abertamente a infalibilidade dos antigos conhecimentos foi o cientista polonês Nicolau Copérnico (1473-1543). Na época, a Igreja defendia as ideias de Aristóteles e de Ptolomeu sobre o universo. De acordo com essas ideias, a Terra ocupava o centro do universo (modelo geocêntrico) e, sendo a humanidade a mais importante criação de Deus, era óbvio pensar que ela devia ocupar uma posição central no universo e na criação. Copérnico formulou um modelo cósmico muito mais consistente, em que o Sol ocupava a posição central, com os planetas girando ao redor (modelo heliocêntrico). Essas ideias já haviam sido propostas, séculos antes, por pensadores gregos, hindus e muçulmanos.

Copérnico publicou sua teoria heliocêntrica (ou heliocentrismo) no livro *De revolutionibus orbium coelestium* (Das revoluções das esferas celestes). O primeiro exemplar impresso desse livro chegou às mãos de Copérnico exatamente no dia de sua morte, em 24 de maio de 1543; ele continha um prefácio anônimo, adicionado sorrateiramente pelo teólogo luterano Andreas Osiander, alertando que a ideia de o Sol ser o centro do sistema solar, ali apresentada, não era uma verdade e sim um artifício matemático para calcular as posições dos planetas. A farsa só foi desmascarada 50 anos mais tarde pelo astrônomo alemão Johannes Kepler (1571-1630), que restabeleceu a ideia original de Copérnico.

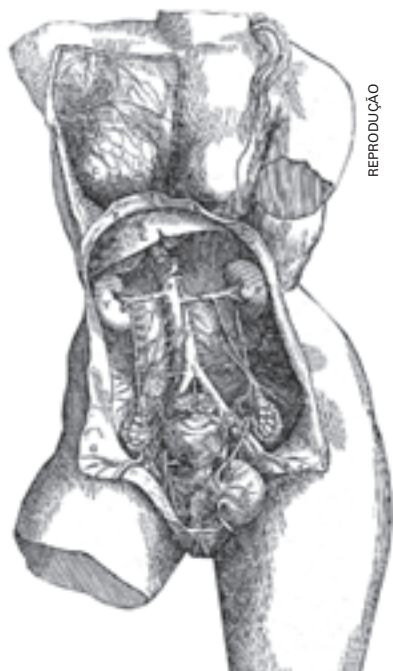
Na área da Biologia, um dos principais contestadores dos textos clássicos foi o anatomista belga Andreas Vesalius (1514-1564); em 1543, ele publicou uma obra em sete volumes, intitulada *De humani corporis fabrica* (Da organização do corpo humano), considerada uma das mais influentes obras de Anatomia Humana de todos os tempos. Ilustrada com exatidão por artistas competentes, a obra de Vesalius apresentava um exame acurado dos órgãos e de toda a estrutura do corpo humano, baseado em dissecações cuidadosas de cadáveres. Nela, Vesalius corrigiu muitos dos erros de Galeno e estabeleceu a importância da dissecação, da observação e de uma visão mecanicista da anatomia para a compreensão do funcionamento corporal. (Fig. 1.7)

Figura 1.7 Ilustração de uma etapa da dissecação da cavidade abdominal humana, contida no quinto volume da obra *De humani corporis fabrica*, publicada por Andreas Vesalius em 1543.



MUNICIPAL HOSPITAL, DELFT, THE NETHERLANDS / GIRAUDON / THE BRIDGEMAN ART LIBRARY / KEYSTONE - MAURITSHUIS, A HAIA, PAÍSES BAIXOS

Figura 1.6 Ilustração sobre uma aula de anatomia durante o Renascimento. (A lição de Anatomia do Dr. Tulp, Rembrandt, 1632, óleo sobre tela 169,5 x 216,5 cm.) A fé nos textos clássicos era tamanha que qualquer inconsistência entre o observado na dissecação e o descrito no livro era considerada defeito do cadáver, pois o livro é que conteria a verdade.



REPRODUÇÃO

» Habilidades sugeridas

- ▶ Familiarizar-se com conceitos e procedimentos empregados pelos cientistas e perceber a possibilidade de aplicá-los em situações do cotidiano.
- ▶ Reconhecer os papéis da observação, da formulação de hipóteses e da experimentação nos procedimentos científicos.
- ▶ Distinguir fato, hipótese, lei e teoria.
- ▶ Relacionar ciência e tecnologia.

» Conceitos principais

- método hipotético-dedutivo
- hipótese
- dedução
- experimentação
- teoria
- lei científica

1 Uma nova forma de estudar a natureza

Os trabalhos de Copérnico e de Vesalius fortaleceram a revolução científica ao romper com o procedimento medieval de interpretar a natureza com base em escritos clássicos e teológicos. Por isso, esses trabalhos marcam o início da ciência moderna, que se consolidou no decorrer do século XVII e cuja característica principal foi a elaboração de novos procedimentos para o estudo da natureza.

Esses novos procedimentos se fundamentavam na evidência empírica, ou seja, naquilo que pode ser percebido por meio de nossos sentidos, aliada à importância da Matemática na descrição e interpretação dos fenômenos naturais; por outro lado, descartavam explicações baseadas nos textos clássicos e na Bíblia. Entre os proponentes e divulgadores das novas ideias, destacam-se o filósofo inglês Francis Bacon (1561-1626) e o físico italiano Galileu Galilei (1564-1642).

Francis Bacon recusava-se a aceitar tanto os dogmas elaborados a partir dos escritos de Aristóteles e outros sábios antigos quanto as “verdades reveladas” contidas nos textos religiosos. A seu ver, as explicações para os fenômenos da natureza deviam basear-se na observação empírica e não nos livros clássicos. Assim, para determinar o número de dentes do cavalo, por exemplo, era melhor contá-los diretamente nesses animais, em vez de simplesmente aceitar o valor estimado por Aristóteles séculos atrás. Em resumo, Bacon propunha que o estudo da natureza devia começar pela observação dos fatos e não pela fé nos livros. (Fig. 1.8)

Uma preocupação central de Francis Bacon foi a elaboração de procedimentos padronizados, que permitissem chegar a explicações válidas para os fenômenos naturais. Em uma série de textos publicados entre 1606 e 1626, ano de sua morte, o filósofo inglês procurou estabelecer métodos para organizar as observações da natureza. Ele afirmava que, partindo de casos particulares, era possível chegar a causas ou explicações gerais para determinado fenômeno, método conhecido como indução. Bacon difundiu o procedimento indutivo na pesquisa da natureza, embora não tenha conseguido explicar claramente como, com base em fatos isolados, se podia obter uma explicação geral.

Galileu Galilei combateu a física aristotélica defendida pela Igreja cristã da época. Ele discordava de alguns procedimentos utilizados por Aristóteles na interpretação dos fenômenos naturais e afirmava que tais fenômenos deviam ser compreendidos a partir da experimentação e da abordagem matemática. Além disso, Galileu acrescentou ao procedimento baconiano a ideia de que era preciso submeter a testes a explicação para um fenômeno natural, com o objetivo de verificar se ela era falsa ou verdadeira. A ideia de testar hipóteses aparece em diversos momentos na história da ciência, mas foi Galileu quem a expôs com clareza. (Fig. 1.9)



Figura 1.8 Retrato de Francis Bacon, filósofo inglês que propôs a utilização de procedimentos rigorosos para estudar a natureza, sendo um precursor da ciência moderna.

Por sua preocupação em estabelecer procedimentos para estudar a natureza, Francis Bacon é considerado o fundador da Filosofia da Ciência. Galileu Galilei, por sua vez, é considerado o “pai” da Física moderna e da ciência experimental. As ideias de Bacon e de Galileu, entre outros estudiosos, foram ampliadas e modificadas no decorrer do século XVII, originando o método hipotético-dedutivo, que veremos a seguir.



Figura 1.9 Folha de rosto do livro *Il Saggiatore* (“O ensaiador”), escrito por Galileu Galilei e publicado em 1623. A ilustração expressa, por meio de ícones, a convicção de que a ciência e a Matemática são os pilares do estudo da natureza. A ciência é representada pela imagem feminina à esquerda, cuja cabeça envolve por raios indica a mente iluminada pela luz da razão. Em uma das mãos, ela segura um livro que contém os fatos sobre o universo, representado pela esfera, na outra mão. A Matemática é representada pela figura feminina à direita, cuja coroa a qualifica como a rainha das disciplinas. Em uma das mãos ela tem um compasso, utilizado para desenhar as trajetórias dos astros, indicadas na esfera celeste, na outra mão.

2 O método hipotético-dedutivo

O objetivo da ciência é fornecer explicações para os fenômenos da natureza. Essas explicações são formuladas e testadas por meio de procedimentos rigorosos, dentre os quais se destaca o **método hipotético-dedutivo**, também chamado **método científico**.

O processo científico começa sempre com alguma observação que leva o observador a perguntar: “Por que tal fenômeno ocorre?” ou “Qual a relação entre determinados fatos?”. Essas perguntas ocorrem quando ainda não há explicação para um fato observado, ou quando as explicações existentes não são consideradas satisfatórias. Em ciência, um problema é uma pergunta a que não se consegue responder diretamente com o conhecimento vigente. Como disse o filósofo da ciência austríaco Karl Popper (1902-1994), “[...] cada problema surge da descoberta de que algo não está de acordo com nosso suposto conhecimento; ou, examinado em termos lógicos, da descoberta de uma contradição interna entre nosso suposto conhecimento e os fatos”.

Diante do problema, o cientista passa a imaginar possíveis explicações, ou **hipóteses**, capazes de solucioná-lo. Um dos passos mais difíceis no procedimento científico é definir a pergunta a ser feita, identificando claramente o problema para, então, formular as hipóteses e as estratégias para testá-las. Embora se possa dizer que uma hipótese científica é como um palpite sobre a possível causa de um fenômeno, ela não é um palpite qualquer. Para formular a hipótese, o cientista analisa, interpreta e reúne as informações disponíveis sobre o assunto. Uma condição fundamental para a elaboração de uma hipótese científica é a existência da possibilidade de submetê-la a testes, que permitam verificar se ela é falsa ou “verdadeira”. Mais adiante explicaremos o uso de aspas na palavra “verdadeira”.

O teste de uma hipótese baseia-se no seguinte raciocínio: se uma hipótese é válida, podem-se prever determinadas consequências disso, ou seja, podem-se fazer **deduções** a partir da hipótese. Por isso esse tipo de procedimento é chamado de hipotético-dedutivo. Se as deduções não são confirmadas pelos resultados dos experimentos ou de novas observações, ou mesmo de simulações matemáticas, o cientista retrocede e modifica a hipótese, ou a substitui por outra. Por outro lado, se as previsões se confirmam, a hipótese é aceita.

Vejamos um exemplo. Um pesquisador estuda as informações disponíveis sobre as necessidades nutricionais das plantas, entre elas a de que a cor verde das folhas deve-se à presença de clorofila, substância que contém magnésio em sua composição química. A partir disso, o pesquisador elabora uma hipótese para explicar por que as folhas dos tomateiros cultivados em certa região ficaram amareladas: há deficiência de magnésio no solo, o que impede a síntese normal de clorofila. Com base nesse raciocínio, ele pode fazer as seguintes previsões: a) uma análise química do solo mostrará deficiência de magnésio; b) se magnésio for adicionado ao solo, as plantas deixarão de apresentar folhas amareladas.

Como veremos no próximo item, o teste de uma hipótese pode demonstrar que ela é falsa, mas nunca pode demonstrar que é verdadeira. Portanto, em ciência, podemos ter certeza de estarmos errados, mas jamais teremos certeza de estarmos certos. Explicações científicas, portanto, nunca são definitivas; elas são aceitas como “verdades” apenas enquanto não há motivos para duvidar delas, ou seja, enquanto não são rejeitadas pelos testes. É por isso que usamos aspas ao dizer que uma hipótese é “verdadeira”.

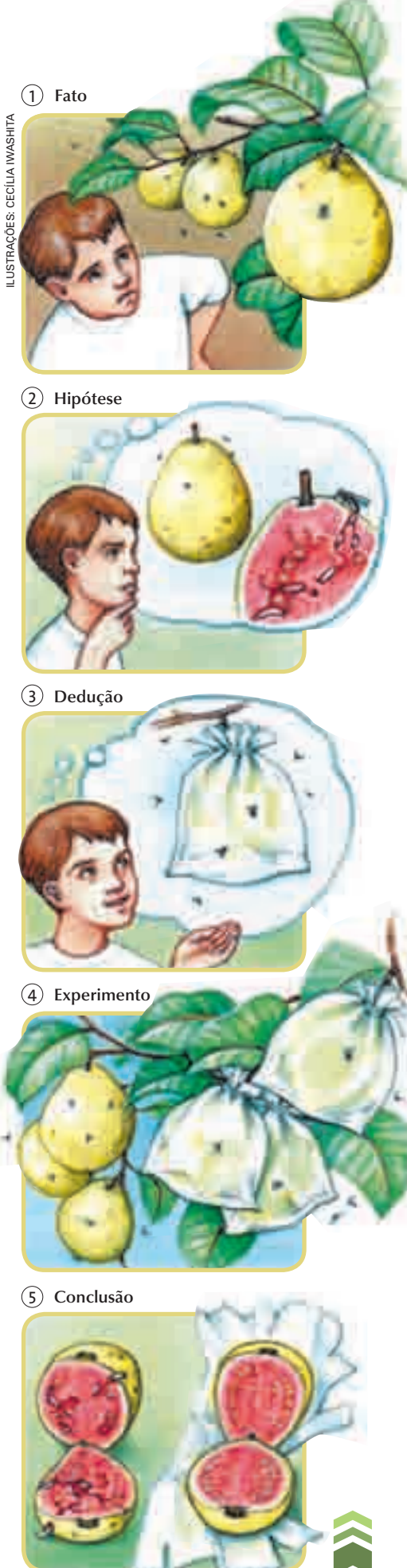
Em termos simples, o procedimento hipotético-dedutivo de investigação da natureza costuma seguir estes passos lógicos:

1. Identificação de um problema.
2. Formulação de uma hipótese.
3. Levantamento de deduções a partir da hipótese.
4. Teste das deduções, por meio de novas observações ou de experimentos.
5. Conclusões sobre a validade ou não da hipótese.

Na prática, as deduções são testadas por meio de novas observações ou pela **experimentação**. Um experimento é uma situação artificial, criada pelo cientista com o objetivo de verificar se as consequências previstas por uma hipótese se confirmam ou não.

Um exemplo cotidiano de procedimento hipotético-dedutivo é apresentado na **Figura 1.10**. Analise-a, acompanhando o texto da legenda.

Figura 1.10 Exemplo de um procedimento científico. A partir da observação de moscas pousadas nas goiabas e da constatação de que elas podem ter “bichos”, e tendo em mente a teoria de que todo ser vivo surge somente pela reprodução de outros seres vivos, um cientista elabora a seguinte hipótese: os “bichos” de goiaba são larvas de moscas. Com base nessa hipótese, pode ser feita uma dedução: se as goiabas forem protegidas com saquinhos de papel, nelas não se desenvolverão “bichos”. Após a realização do experimento, a previsão se confirma e dá credibilidade à hipótese.



Falseabilidade de uma hipótese

Até as primeiras décadas do século XX, perdurou a visão de que a ciência era um caminho que levava à verdade e permitiria uma compreensão tão acurada e completa do mundo que nos daria a possibilidade de prever os acontecimentos e controlá-los. Entretanto, havia um grande problema, já apontado pelo filósofo escocês David Hume (1711-1776) no século XVIII: o raciocínio indutivo adotado no procedimento científico não tem sustentação lógica, uma vez que não se pode passar de uma série de enunciados singulares para um enunciado universal. Por exemplo, o fato de termos observado um cisne branco, um segundo cisne branco, um terceiro cisne branco e assim por diante não nos permite induzir um enunciado universal de que “todos os cisnes são brancos”. Não há validade lógica nessa generalização porque sempre será possível haver um cisne colorido que, por algum motivo, não foi observado. (Fig. 1.11)

Transpondo esse raciocínio para o procedimento científico, concluímos que não importa a quantos testes uma hipótese “sobreviva”: nunca teremos a prova definitiva de que ela é verdadeira.

Foi o filósofo Karl Popper quem propôs uma solução para o problema da indução no procedimento científico. De acordo com ele, os cientistas realmente fazem hipóteses sobre a natureza do mundo e, então, submetem-nas a testes rigorosos. Esses testes, no entanto, não são tentativas para provar a hipótese (o que seria uma forma de indução e, portanto, destituída de lógica), mas sim tentativas de negá-la. Provar uma hipótese é algo logicamente impossível de se fazer, pois requereria a tarefa de documentar todas as situações, inclusive aquelas que ainda não ocorreram; porém, um único exemplo contra uma hipótese é suficiente para negá-la. Voltando ao exemplo dos cisnes, para provar o enunciado de que todos eles são brancos seria preciso observar todos os cisnes do universo, inclusive os que já existiram e os que virão a existir. Entretanto, bastaria encontrar um único cisne negro para negar aquela hipótese.

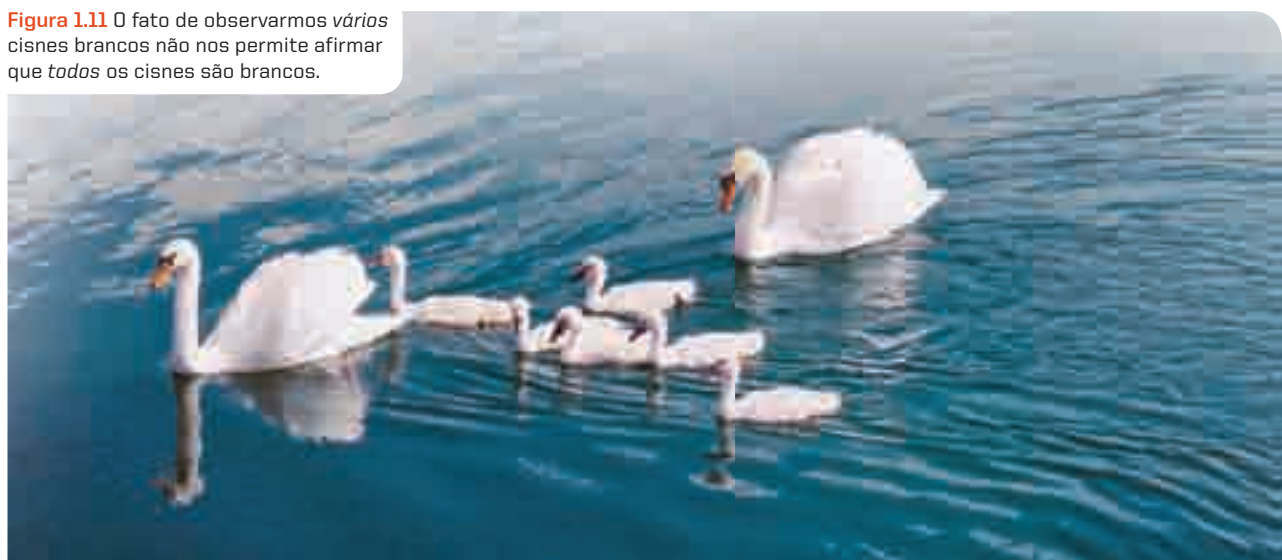
Uma hipótese é aceita quando os testes a que ela é submetida não conseguem falseá-la. Essa ideia, conhecida como falseabilidade, ou falsificação, da hipótese, ajudou a estabelecer uma nova visão de conhecimento científico, em substituição ao dogmatismo da infalibilidade da ciência.

Os resultados em ciência nunca devem ser aceitos como definitivos e inquestionáveis. Uma explicação científica será aceita enquanto não houver motivos para duvidar dela, ou seja, enquanto ela for “verdadeira” acima de qualquer suspeita. Sobre essa nova visão, o cientista francês François Jacob (n. 1920), prêmio Nobel em Medicina ou Fisiologia, comentou: “No final deste século XX, é preciso que fique claro para todos que nenhum sistema explicará o mundo em todos os seus aspectos e detalhes. Ter ajudado na destruição da ideia de uma verdade intangível e eterna talvez seja uma das mais valiosas contribuições da metodologia científica”.

Vale lembrar também o alerta do professor Luiz Carlos Bombassaro em seu livro *Ciência e mudança conceitual: notas sobre epistemologia e história da ciência* (1995): “Especialmente em ciência, aquele que julga ter encontrado uma resposta conclusiva dá mostras não somente de seu fracasso mas também do fracasso da própria ciência. Aquele que for incapaz de transpor os limites do pensamento dogmático, impostos pela educação científica formal, e não aceitar o jogo do pensamento crítico está longe de fazer ciência, pois não poderá resistir à constante transformação das teorias, à mudança conceitual e ao cada vez mais célere avanço do conhecimento”.

Figura 1.11 O fato de observarmos várias cisnes brancos não nos permite afirmar que *todos* os cisnes são brancos.

JOHN FOX IMAGES



Teoria, hipótese e lei em ciência

Os termos “hipótese” e “teoria” são muitas vezes utilizados na linguagem cotidiana sem precisão científica; por exemplo, às vezes se emprega a expressão “Isso não passa de uma teoria”, como se teoria fosse inferior a um fato. Em ciência, fatos, hipóteses, teorias e leis são coisas diferentes, cada uma ocupando seu lugar no conhecimento científico. A respeito disso o biólogo norte-americano Stephen J. Gould (1941-2002) escreveu em 1989: “[...] Fatos e teorias são coisas diferentes e não de graus de uma hierarquia de certeza crescente. Os fatos são os dados do mundo. As teorias são estruturas que explicam e interpretam os fatos. Os fatos não se afastam enquanto os cientistas debatem teorias rivais. A teoria da gravitação de Einstein tomou o lugar da de Newton, mas as maçãs não ficaram suspensas no ar, aguardando o resultado [...]”.

Muitas vezes, o termo hipótese é usado como sinônimo de teoria, mas há uma diferença entre eles. Como vimos anteriormente, hipótese é uma tentativa de explicação para um fenômeno isolado, enquanto teoria é uma ideia ampla ou um modelo que explica coerentemente um conjunto de observações e de fatos abrangentes da natureza. **Teorias** são visões de como o mundo funciona; são elas que dão sentido ao que vemos, e é com base nelas que podemos elaborar hipóteses sobre fatos e fenômenos observados. A teoria celular, por exemplo, procura explicar a vida a partir de informações sobre a estrutura e o funcionamento das células. A teoria da gravitação universal de Newton procurava explicar os movimentos dos corpos celestes com base na força de atração gravitacional.

Uma **lei científica**, por sua vez, é a descrição da regularidade com que um fenômeno natural se manifesta sob certas circunstâncias. Ela assemelha-se aos postulados da Matemática e geralmente é aceita como verdadeira e universal.

3

A comunicação em ciência

Uma das exigências da ciência é que as ideias e conclusões científicas sejam tornadas públicas, para que possam ser criticadas. Fatos, teorias, hipóteses e leis só passam a fazer parte integrante do corpo da ciência se forem publicados, na forma de artigo, em uma revista científica especializada, credenciada pela comunidade acadêmica. Esse tipo de publicação é imprescindível, pois é o que dá credibilidade às informações e permite não apenas sua consulta e referência por outros cientistas e pelo público em geral, mas também possibilita a crítica, a refutação ou o aperfeiçoamento das ideias nela contidas.

Uma revista científica é uma publicação periódica vinculada a uma sociedade científica ou a uma instituição de pesquisa. Os editores de revistas científicas são pesquisadores de renome na comunidade, e sua função é promover a avaliação dos artigos recebidos para publicação. Nesse trabalho, eles são auxiliados por outros cientistas que atuam como árbitros anônimos, com a incumbência de avaliar os artigos e recomendar sua aceitação na forma original, ou após correções, ou ainda sugerir sua rejeição. Essa avaliação prévia dos artigos científicos tem por objetivo excluir banalidades e excentricidades e verificar o ineditismo, a relevância, a qualidade e a adequação da investigação apresentada. Esse procedimento, conhecido como julgamento por pares, evita que autoridade e fama por si sós sejam suficientes para a aceitação de uma ideia em ciência. Qualquer pesquisador, seja ele um iniciante ou um cientista consagrado, passa pelo mesmo ritual de julgamento sempre que quiser validar cientificamente uma ideia. (Fig. 1.12)

Figura 1.12 Capas da revista estadunidense *Science*, publicada pela American Association for the Advance of Science, e da revista brasileira *Genetics and Molecular Biology*, publicada pela Sociedade Brasileira de Genética. *Science* é uma das mais conceituadas revistas científicas do mundo e publica artigos em diversas áreas das ciências naturais; *Genetics and Molecular Biology* é especializada na publicação de artigos na área da Genética.



REPRODUÇÃO

REPRODUÇÃO



Um artigo científico é geralmente estruturado da seguinte maneira: introdução, materiais e métodos, resultados, discussão e referências bibliográficas. A introdução tem por finalidade situar o tema em estudo, apresentando os objetivos da investigação realizada, as hipóteses testadas e estudos relacionados já publicados em revistas científicas. O item relativo a materiais e métodos tem por objetivo descrever detalhadamente os materiais e os procedimentos utilizados na investigação, de modo que, em uma eventual repetição, possam ser obtidos os mesmos resultados. No item relativo aos resultados, descreve-se minuciosamente o que foi observado durante os estudos. A discussão visa analisar criticamente o trabalho efetuado e as hipóteses testadas, confrontando os resultados obtidos com o conhecimento vigente apresentado em outras publicações e avaliando a contribuição do estudo realizado. O item relativo às referências bibliográficas relaciona todos os artigos citados, com indicação dos autores, nome da revista, volume, páginas e data da publicação. (Fig. 1.13)



Figura 1.13 Artigo de J. D. Watson e de F. H. C. Crick intitulado *Molecular structure of nucleic acids*, publicado na revista inglesa *Nature* (vol. 171, pp. 737-738, 1953), em que os dois cientistas propõem um modelo para a estrutura molecular do DNA.

Será que artigos veiculados em jornais, em revistas de divulgação ou em livros são comparáveis aos publicados em revistas científicas especializadas? A resposta é não. Tais artigos não são submetidos à avaliação pelos pares, ou seja, por especialistas credenciados pela comunidade científica. Publicações em jornais e revistas de divulgação, assim como programas de televisão sobre ciência, desempenham papel importante na popularização do conhecimento científico, mas não trazem novos conhecimentos à ciência. Essas publicações são muitas vezes redigidas por jornalistas especializados, que se empenham em interpretar para o grande público artigos de interesse publicados em revistas científicas.

Livros didáticos também não têm o objetivo de agregar ideias originais ao conhecimento científico. Seu papel é apresentar, de forma organizada e coerente, as ideias centrais vigentes em uma área do conhecimento, para ajudar o estudante a compreender e a integrar conceitos-chave que lhe permitam desenvolver uma visão científica do mundo.

- 1 Vivemos em um mundo admirável, que se transforma a cada dia. As principais forças responsáveis por essa transformação são as tecnologias advindas do saber científico.
- 2 Ciência é um modo de obter conhecimento sobre a natureza; tecnologia, por sua vez, é a utilização de conhecimentos, científicos ou não, para a obtenção de resultados práticos. Por exemplo, a descoberta de que micróbios causadores de doenças presentes no leite morrem quando submetidos a temperaturas superiores a 65 °C — um conhecimento sobre a natureza — permitiu o desenvolvimento da técnica de pasteurização, uma tecnologia de tratamento por calor que livra o leite de eventuais germes patogênicos.
- 3 A tecnologia é quase tão antiga quanto a própria humanidade. O conhecimento de que objetos de borda afiada eram cortantes permitiu aos nossos antepassados lascar pedras e produzir diversas ferramentas primitivas, como pontas de flecha, facas e raspadores; essa tecnologia foi fundamental para a sobrevivência da espécie humana. A produção de objetos de pedra lascada, principal evidência do início da cultura humana, mostra que a capacidade tecnológica está presente desde os primórdios da humanidade. (Fig. 1.14A)
- 4 Veja um exemplo interessante de uma antiga tecnologia que algumas tribos indígenas do Brasil ainda utilizam para pescar. Conhecendo as propriedades anestésicas de certas plantas, os índios as esmagam e fazem com elas uma preparação, que é jogada no rio. Quando os peixes atordoados começam a flutuar, são capturados.
- 5 Ao longo da história, a tecnologia modelou a civilização e permitiu, entre outras coisas, a construção de uma infinidade de aparelhos mecânicos, elétricos e eletrônicos. No mundo contemporâneo, ciência e tecnologia estão fortemente ligadas: conhecimentos produzidos por cientistas são amplamente aplicados em diversas áreas, como a indústria, a agricultura, a medicina etc. Pense, por exemplo, na quantidade de conhecimento científico envolvido na tecnologia da tomografia computadorizada, que permite observar detalhes internos do corpo de uma pessoa e fazer apurados diagnósticos médicos. (Fig. 1.14B)
- 6 Por outro lado, a construção de armas como a bomba de nêutrons, capaz de eliminar populações inteiras sem danificar um só edifício, também exigiu o emprego de inúmeros conhecimentos científicos. Esse é um péssimo exemplo de aplicação de conhecimento científico.
- 7 Em princípio, a humanidade utiliza a tecnologia para construir um mundo melhor. Entretanto, os resultados do emprego do conhecimento tecnológico são complexos e nem sempre previsíveis. Apesar dos benefícios, também há custos e riscos. A poluição e os desequilíbrios ecológicos do mundo contemporâneo são os principais subprodutos negativos do desenvolvimento de sociedades tecnológicas.



AKG-IMAGES/LATINSTOCK



JAVIER LARREA/AGB PHOTO

Figura 1.14 Alguns exemplos de tecnologia. **A.** Ferramentas de pedra lascada utilizadas no paleolítico e neolítico. **B.** Aparelho médico computadorizado utilizado para observar detalhes internos do corpo.

Biologia, presente e futuro

8 Um dos maiores desafios enfrentados atualmente pela humanidade é a preservação do ambiente. O crescimento acelerado das populações humanas tem levado à destruição de ambientes naturais, à poluição e à extinção de inúmeras espécies. Isso afeta a qualidade dos ambientes e se reflete diretamente no bem-estar humano. Não é por acaso que a Ecologia, o ramo do conhecimento que estuda a interação dos seres vivos com o ambiente, vem se tornando cada vez mais popular.

9 O problema ambiental tem causas complexas, mas resulta, basicamente, do grande aumento da população humana e do mau uso dos recursos naturais. No início do século XXI, a população humana foi estimada em 6 bilhões de habitantes, e a tendência é que ela continue a crescer em ritmo acelerado. Os resíduos produzidos pela atividade humana vêm se acumulando e degradando o ambiente natural, fazendo com que os recursos se tornem mais escassos e mais caros. A discussão do problema ecológico envolve não apenas aspectos científicos, mas também questões econômicas, políticas, filosóficas e religiosas. A Biologia tem muito a oferecer nessas discussões; por exemplo, pode ajudar a controlar a explosão populacional, tanto pelo desenvolvimento de novos métodos anticoncepcionais como pela compreensão dos mecanismos que regulam o crescimento das populações humanas.

10 Juntamente com a Química e a Física, a Biologia também deve participar do controle da poluição ambiental. A conservação do solo, o manejo dos ambientes naturais e a preservação das espécies são pontos em que a participação das ciências biológicas tem se mostrado decisiva.

11 Você provavelmente já ouviu falar da Engenharia Genética, um campo de pesquisa biológica recente que consiste em um conjunto de técnicas e métodos para manipular o material genético e criar organismos antes inexistentes. Por exemplo, genes de uma espécie podem ser isolados e introduzidos em outras espécies, conferindo-lhes propriedades hereditárias novas, ausentes nos ancestrais. Organismos produzidos dessa forma são denominados transgênicos, ou organismos geneticamente modificados (OGM).

12 A primeira aplicação comercial dos organismos transgênicos começou em 1982, com a produção de insulina por bactérias geneticamente modificadas. Com essa tecnologia, genes humanos são implantados nas bactérias, que passam a produzir proteínas humanas de interesse médico. Desse modo, aproveita-se a capacidade de multiplicação das bactérias para transformá-las em verdadeiras fábricas de substâncias que nos interessam, como a insulina ou o hormônio do crescimento, entre outras.

13 As modernas tecnologias de Engenharia Genética têm permitido obter com relativa facilidade organismos geneticamente modificados, sobretudo plantas. O cultivo em larga escala de plantas transgênicas, no entanto, tem sido alvo de discussões acaloradas entre defensores e opositores dessa tecnologia, como você já deve ter acompanhado pela imprensa. Os defensores acreditam que a inovação tecnológica poderá causar uma verdadeira revolução na agricultura, com aumento da produção de alimentos e todas as consequências benéficas daí derivadas. Os que se opõem ao uso de organismos transgênicos reclamam contra os possíveis perigos para o ambiente e para a saúde humana. (Fig. 1.15)

14 Em nossa opinião, por um lado é preciso ter certo grau de segurança quanto ao emprego dos organismos transgênicos, levando em conta seus potenciais riscos para o ambiente e para a saúde. Entretanto, também não se pode simplesmente abrir mão de uma tecnologia capaz de trazer melhorias substanciais à qualidade de vida das pessoas. Não deixe de acompanhar essas discussões e formar sua opinião a respeito. Exercite sua cidadania.



CONEYL JAV/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

Figura 1.15

A. O melhoramento de plantas e animais, que atualmente já emprega recursos de Engenharia Genética, permite alterar características dos seres vivos, como o tamanho de frutos de tomate, por exemplo.

B. Bezerro geneticamente modificado com o objetivo de produzir hormônio de crescimento humano.



PHILIPPE PSAILA/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

GUIA DE LEITURA

1. Leia os dois primeiros parágrafos do quadro; certifique-se de que compreendeu claramente a diferença entre ciência e tecnologia. Responda: a tecnologia surgiu antes ou depois da ciência?
2. Leia o terceiro e quarto parágrafos, que comentam a antiguidade da capacidade tecnológica dos seres humanos. Com certeza, é possível encontrar outros exemplos de desenvolvimentos tecnológicos na cultura indígena brasileira. Pense nisso como uma possível pesquisa.
3. Leia o quinto parágrafo do quadro. Qual é a ideia central ou, em outras palavras, como o texto relaciona, contemporaneamente, ciência e tecnologia?
4. Nos parágrafos 6 e 7 afirma-se que as aplicações tecnológicas das ciências não são necessariamente boas. Além dos exemplos do texto, você conhece outras aplicações tecnológicas eventualmente perigosas? Considere esse outro bom tema de pesquisa.
5. No item do quadro – *Biologia, presente e futuro* – os parágrafos 8, 9 e 10 comentam os desafios e as possíveis contribuições da Biologia para o futuro da humanidade, o que mostra a importância de seu estudo. Em sua opinião, qual a ideia ou informação mais importante que pode ser sintetizada desses três parágrafos?
6. Os parágrafos 11 e 12 apresentam informações sobre os organismos geneticamente modificados, ou transgênicos. Em sua opinião, essas informações melhoraram sua compreensão sobre os transgênicos?
7. Os dois parágrafos finais (13 e 14) comentam as polêmicas sobre as modernas tecnologias de produção de organismos geneticamente modificados, ou transgênicos. Esse assunto tem sido muito veiculado na imprensa, envolvendo até mesmo a obrigatoriedade de identificar no rótulo que um produto (como o milho, por exemplo) é geneticamente modificado. O que você já conhece a respeito? Procure acompanhar esse assunto na próxima oportunidade que ele surgir.

» Habilidades sugeridas

- ▶ Estar informado sobre as dificuldades dos estudiosos em definir vida.
- ▶ Identificar e explicar as principais características dos seres vivos: organização celular, metabolismo, reprodução e evolução biológica.

» Conceitos principais

- substância orgânica
 - célula
 - unicelular
 - multicelular
 - tecido
 - órgão corporal
 - metabolismo
- reprodução assexuada
 - reprodução sexuada
 - fecundação
 - hereditariedade
- variabilidade genética
 - seleção natural

1 O que é vida?

Muitos biólogos têm se empenhado na tarefa de definir vida; contudo, nenhuma das definições obtidas até hoje foi plenamente satisfatória. Dentre as diversas tentativas, podem-se citar algumas. Em 1959, o geneticista norte-americano Norman Horowitz (1915-2005) afirmou que a vida “caracteriza-se por autorreplicação, mutabilidade e troca de matéria e energia com o meio ambiente”. Em 1986, o biólogo evolucionista inglês John Maynard Smith (1920-2004) considerou que “[...] entidades com propriedades de multiplicação, variação e hereditariedade são vivas, e entidades que não apresentam uma ou mais dessas propriedades não o são”. O bioquímico evolucionista Jeffrey S. Wicken, por sua vez, em 1987, definiu vida como “uma hierarquia de unidades funcionais que, através da evolução, têm adquirido a habilidade de armazenar e processar a informação necessária para sua própria reprodução”.

Note que essas não são definições do que seja vida, mas propriedades essenciais para garantir a evolução por seleção natural. Assim, além de conter a visão bastante difundida de que os seres vivos são sistemas químicos altamente organizados, que se mantêm à custa de gasto de energia e que podem se multiplicar, as propostas dos autores mencionados consideram que uma das características intrínsecas à vida é sua capacidade de evoluir, adaptando-se aos ambientes.

Há cientistas eminentes que consideram impossível definir claramente o que é vida. Entre estes últimos, destaca-se o renomado zoólogo alemão, naturalizado estadunidense, Ernst Mayr (1904-2005); em 1982, ele escreveu: “Tentativas foram feitas repetidamente para definir ‘vida’. Esses esforços são um tanto fúteis, visto que agora está inteiramente claro que não há uma substância, um objeto ou uma força especial que possa ser identificada à vida”. Apesar de não achar possível definir vida, Ernst Mayr admite a possibilidade de definir o que ele chama de “processo da vida”. Diz ele: “O processo da vida, contudo, pode ser definido. Não há dúvida de que os organismos vivos possuem certos atributos que não são encontrados [...] em objetos inanimados”.

Dentre os atributos mais característicos dos seres vivos, destacam-se: composição química; organização; metabolismo; reação e movimento; crescimento e reprodução; hereditariedade; variabilidade genética, seleção natural e adaptação.

2 Composição química dos seres vivos

A matéria que forma os seres vivos é constituída por átomos, assim como a matéria constituinte das entidades não vivas. Isso significa que a matéria viva está sujeita às mesmas leis naturais que regem o universo conhecido. Na matéria viva, porém, certos tipos de elemento químico estão sempre presentes. São eles: carbono (C); hidrogênio (H); oxigênio (O); nitrogênio (N); em menor proporção, fósforo (P) e enxofre (S).

Dezenas, centenas e mesmo milhões de átomos desses elementos, unidos por meio de ligações químicas, formam as moléculas constituintes dos seres vivos, genericamente chamadas de **substâncias orgânicas**. Entre essas substâncias destacam-se as proteínas, os glicídios, os lipídios e os ácidos nucleicos. Observe a **Tabela 1.1** e compare a porcentagem de alguns elementos químicos em seres vivos e no mundo não vivo.

Tabela 1.1 Alguns elementos químicos em seres vivos e no mundo não vivo					
Elemento químico	Símbolo	Ocorrência em porcentagem (%) de átomos			
		Universo	Crosta terrestre	Oceano	Corpo humano
Carbono	C	- *	-	-	10,7
Hidrogênio	H	92,8	2,9	66,2	60,6
Oxigênio	O	-	60,1	33,1	25,7
Nitrogênio	N	-	-	-	2,4
Fósforo	P	-	-	-	0,1
Enxofre	S	-	-	-	0,1

* - indica valores inferiores a 0,1%

Fonte dos dados: <http://www.scienceclarified.com/El-Ex/Element-Chemical.html> Acesso em: mar. 2010.

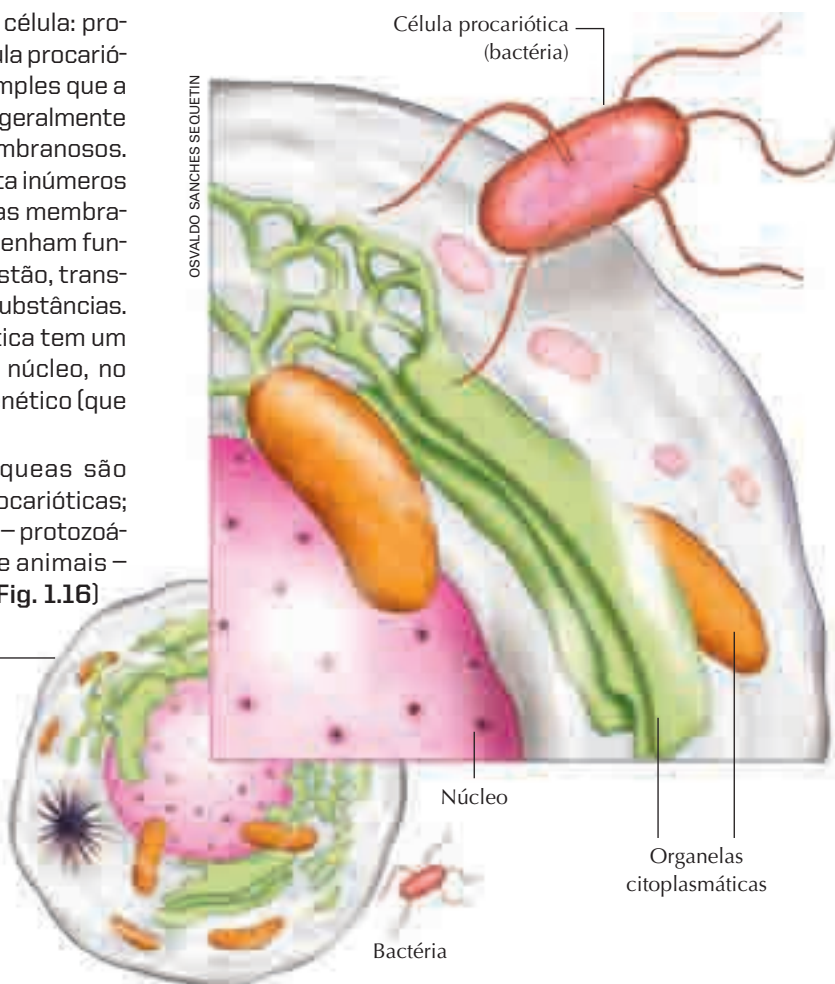
3 Organização da matéria viva

Os seres vivos estão entre as entidades mais complexas do universo. Basta dizer que, no espaço microscópico de uma célula viva, podem estar reunidos até 35 elementos químicos diferentes, dos 92 elementos que ocorrem naturalmente no universo. Além disso, os elementos químicos que compõem os seres vivos estão organizados em alguns milhares de substâncias orgânicas diferentes. Essas substâncias, distribuídas e combinadas de forma também altamente organizada, constituem as **células**, consideradas as unidades da vida.

Há dois tipos básicos de célula: procariótica e eucariótica. A célula procariótica é relativamente mais simples que a eucariótica e em seu interior geralmente não há compartimentos membranosos. A célula eucariótica apresenta inúmeros compartimentos e estruturas membranosas internas, que desempenham funções específicas como digestão, transporte e armazenamento de substâncias. Além disso, a célula eucariótica tem um compartimento especial, o núcleo, no qual se localiza o material genético (que forma os genes).

Apenas bactérias e arqueas são constituídas por células procarióticas; todos os demais seres vivos – protozoários, algas, fungos, plantas e animais – têm células eucarióticas. (Fig. 1.16)

Figura 1.16 Representação esquemática em que se comparam a célula eucariótica de um animal e a célula procariótica de uma bactéria. A célula eucariótica é maior e mais complexa, apresentando núcleo e organelas citoplasmáticas. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)



Seres vivos constituídos por uma única célula – bactérias, arqueas, protozoários, algumas algas e uns poucos fungos – são chamados seres **unicelulares**. Os que são constituídos por mais de uma célula (desde poucas dezenas até bilhões ou trilhões) são chamados seres **multicelulares** ou **pluricelulares**. Na maioria dos seres multicelulares há grupos de células especializadas em realizar funções diversas, os **tecidos**, que podem se organizar em **órgãos corporais**.

Muitos biólogos não incluem os vírus entre os seres vivos porque eles não apresentam organização celular. Vírus são seres acelulares, constituídos por uma ou algumas moléculas de ácido nucleico, que pode ser o DNA ou o RNA, envoltas por uma cápsula proteica. Recentemente, foram encontrados uns poucos casos, considerados exceções, em que a partícula viral apresenta os dois tipos de ácidos nucleicos. Vírus são sempre parasitas intracelulares, pois somente conseguem se reproduzir no interior de células de outros seres vivos, como animais, plantas, fungos ou bactérias.

4 Metabolismo

A maioria das substâncias celulares é constantemente degradada e substituída por substâncias recém-fabricadas. Essa atividade intensa de montagem e desmontagem de substâncias requer energia, que a célula obtém pela degradação de certos tipos de moléculas orgânicas, genericamente chamadas de nutrientes orgânicos. Além de fornecer a energia necessária à manutenção da vida, os nutrientes orgânicos fornecem matéria-prima para a célula produzir novas moléculas. Toda essa atividade de transformação química que ocorre no interior de uma célula constitui o **metabolismo**, palavra de origem grega (*metabole*) que significa mudança ou transformação.

O metabolismo é geralmente dividido em anabolismo e catabolismo. **Anabolismo** refere-se a todos os processos em que há produção de novas substâncias a partir de substâncias mais simples (reações de condensação ou síntese). Por exemplo, a produção de proteínas a partir da união de aminoácidos faz parte do anabolismo. **Catabolismo** refere-se ao processo inverso, ou seja, às reações em que há degradação de substâncias complexas em outras mais simples, como a quebra de moléculas do açúcar glicose ($C_6H_{12}O_6$) em moléculas de gás carbônico (CO_2) e de água (H_2O), processo que libera energia. (Fig. 1.17)

PETRA WALLNER/OTHER IMAGES



Figura 1.17 A manutenção da vida de um ser vivo, assim como toda atividade que ele realiza, por exemplo, a prática de esportes, depende das transformações químicas que ocorrem em suas células e que constituem o metabolismo.

Os animais são capazes de perceber o que se passa ao seu redor e de reagir a diferentes tipos de estímulo. Essa reação quase sempre envolve a realização de movimentos. Por exemplo, o cheiro de um leão levado pelo vento provoca a fuga imediata de um bando de antílopes. A capacidade de se movimentar rápida e ativamente, correndo, voando ou nadando, permite à maioria dos animais explorar o ambiente à procura de alimento, de abrigo e de condições adequadas à sobrevivência.

As plantas também reagem a estímulos, embora sua reação seja bem mais lenta que a dos animais. A maioria das plantas altera a posição das folhas no decorrer do dia; em certas espécies, as folhas chegam mesmo a acompanhar a trajetória do Sol, o que lhes possibilita aproveitar melhor a luminosidade. Certas plantas apresentam reações bastante rápidas. É o caso da sensitiva (*Mimosa pudica*) e de certas plantas “carnívoras”, cujas folhas se fecham rapidamente ao ser tocadas. (Fig. 1.18)

Entre os seres microscópicos, muitos são capazes de perceber as condições ambientais, movimentando-se ativamente em resposta a certos estímulos. Certos protozoários, algas e bactérias possuem filamentos móveis, que atuam como nadadeiras microscópicas e permitem deslocamento em meio líquido.

Embora a reação a estímulos e a movimentação ativa sejam características da maioria dos seres vivos, sobretudo dos animais, há formas de vida que não reagem a estímulos nem são capazes de se movimentar ativamente. É o caso de certos tipos de bactéria que somente se deslocam quando transportados pela água, pelo ar ou por outros seres vivos.



Figura 1.18 A reação das folhas da sensitiva (*Mimosa pudica*) ao toque é um exemplo extremo da resposta das plantas a estímulos. As folhas abertas (A), ao serem tocadas (B), fecham-se em segundos (C).

Com exceção dos vírus, todo ser vivo cresce. Alguns minerais também crescem, mas por processos completamente diferentes dos que se verificam nos seres vivos. Certos cristais, por exemplo, podem aumentar de tamanho pela simples agregação de matéria. O crescimento de um ser vivo, por sua vez, ocorre sempre pela produção organizada de substâncias, por meio do metabolismo celular.

Organismos unicelulares crescem pelo aumento do tamanho de sua única célula. Organismos multicelulares crescem principalmente pelo aumento do número de células em seu corpo. As células crescem até atingir determinado tamanho, podendo ou não se dividir em duas células menores, fundamentalmente semelhantes à original. No caso dos seres unicelulares, a divisão da célula em duas corresponde ao próprio processo de reprodução. Nos organismos multicelulares, a vida de um novo ser começa a partir de uma única célula que se multiplica, ou a partir de um grupo de células que se desprende do corpo de um indivíduo preexistente.

Os biólogos costumam distinguir dois modos básicos de reprodução: assexuada e sexuada. **Reprodução assexuada** é aquela em que um novo ser surge a partir de uma célula ou de um grupo de células produzido por um único ser parental. Nesse caso, o organismo filho recebe as mesmas instruções genéticas presentes no parental e geralmente é idêntico a ele. **Reprodução sexuada** é aquela em que um novo ser surge a partir de uma única célula, o zigoto, originado pela união de duas células sexuais, os gametas, produzidas por um ou, mais comumente, por dois seres parentais.



O processo de união dos gametas é a **fecundação**. Se os gametas são provenientes do mesmo ser parental, fala-se em **autofecundação**. Quando os gametas que se fundem originam-se de dois indivíduos parentais, fala-se em **fecundação cruzada**. (Fig. 1.19)

A reprodução é uma característica essencial da vida. O princípio da reprodução é sempre o mesmo: membros de uma geração transmitem ao descendente uma "semente" básica, representada por uma ou mais células (exceto nos vírus). É por meio da reprodução que a vida vem se perpetuando ininterruptamente desde que surgiu, há mais de 3,5 bilhões de anos.

Figura 1.19 A capacidade de se reproduzir é uma das características fundamentais da vida. **A.** Micrografia de um organismo unicelular (protozoário do gênero *Paramecium*) dividindo-se (microscópio óptico; aumento $\approx 300\times$). **B.** Nascimento de um ser humano, que se originou pela fusão de células especiais, os gametas, provenientes de dois indivíduos.

7 Hereditariedade

A **hereditariedade** é outra característica essencial da vida, intimamente ligada à reprodução. Um ser vivo, ao se reproduzir, transmite a seus descendentes um conjunto de instruções em código, inscritas no material genético, e uma estrutura celular básica a partir da qual o novo ser desenvolverá sua organização típica. Herdamos de nossos pais todas as instruções genéticas e a organização celular mínima para desenvolver nosso corpo conforme os padrões típicos de nossa espécie. Uma bactéria, uma samambaia, um cachorro ou qualquer outro ser vivo desenvolvem as características típicas de sua espécie a partir das instruções genéticas e da base celular que receberam pela reprodução de seus "pais". (Fig. 1.20)



Figura 1.20 Uma característica fundamental da vida é a hereditariedade, isto é, a transmissão de características de pais para filhos.

As instruções genéticas estão presentes em moléculas de uma substância química denominada ácido desoxirribonucleico, ou DNA. Apenas uns poucos tipos de vírus não possuem DNA; seu material genético é o ácido ribonucleico, ou RNA. O material genético controla o metabolismo celular e define as características típicas de cada célula e do conjunto de células que constituem o organismo multicelular.

8 Variabilidade genética, seleção natural e adaptação

O material genético varia ligeiramente entre os membros de uma mesma espécie, o que se denomina **variabilidade genética**. Graças a essa variabilidade, os indivíduos que nascem a cada geração são ligeiramente diferentes uns dos outros; alguns deles podem ter mais chance de sobreviver e de se reproduzir e, assim, de transmitir suas características à descendência. Essa ideia, de que os indivíduos de uma população têm diferentes chances de sobreviver e de deixar descendentes, foi proposta em meados do século XIX pelos naturalistas ingleses Charles Darwin (1809-1882) e Alfred Wallace (1823-1913) e denominada **seleção natural**.

A seleção natural é a base da teoria evolucionista, segundo a qual os seres vivos se modificam ao longo do tempo, ajustando-se, ou adaptando-se, aos ambientes em que vivem. A adaptação é explicada pela teoria evolucionista da seguinte maneira: entre os indivíduos de uma geração de organismos vivos, devido à variabilidade genética, sempre há aqueles que se ajustam melhor ao meio em que vivem; estes têm mais chance de sobreviver e de se reproduzir, transmitindo aos descendentes suas características, entre elas as “adaptativas”. Em decorrência dessa seleção operada pela natureza, geração após geração, as espécies vivas vão se tornando cada vez mais ajustadas ao meio, isto é, cada vez mais adaptadas. O bico de um beija-flor, por exemplo, é perfeitamente adaptado ao modo como essa ave se alimenta, pois, graças a seu formato longo e afilado, pode ser introduzido no interior das flores para lamber o néctar.

Como a teoria evolucionista explicaria essa adaptação? Durante a evolução dos pássaros, eles se adaptaram à exploração de diferentes tipos de alimentos; certas linhagens desenvolveram bicos longos e finos, adaptados para sugar o néctar das flores, como é o caso dos beija-flores. (Fig. 1.21)

Segundo a teoria evolucionista, as diferentes formas de adaptação levaram à diversificação da vida e ao surgimento da grande variedade de espécies biológicas hoje existentes, cada uma adaptada a um modo de vida particular.

Figura 1.21 De acordo com os cientistas, a adaptação dos seres vivos a seu modo particular de vida, como o ajuste do bico do beija-flor à flor da planta da qual ele extrai o néctar, é resultado da evolução biológica por meio da seleção natural. Na foto, beija-flor da espécie *Melanotrochilus fuscus*.

FABIO COLOMBINI



Níveis de organização biológica

Habilidade sugerida

- Identificar diferentes níveis hierárquicos de organização do mundo vivo: biosfera, ecossistemas, comunidades biológicas, populações, organismos, tecidos, órgãos, células.

Conceitos principais

- átomo
- molécula
- organela celular
- sistema de órgãos
- organismo
- população biológica
- comunidade biológica
- biótopo
- ecossistema
- biosfera

Os níveis hierárquicos da vida

Ao estudar a vida, podemos distinguir diversos níveis hierárquicos de organização biológica, que vão do submicroscópico ao planetário. Começando do plano submicroscópico, vemos que a matéria viva é constituída de **átomos**, que se reúnem quimicamente formando as **moléculas** das diversas substâncias orgânicas. Proteínas, por exemplo, são substâncias constituídas por centenas, milhares ou mesmo milhões de átomos, principalmente dos elementos carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O) e nitrogênio (N).

Continuando a “subir” na hierarquia da organização biológica, vemos que as moléculas orgânicas estão organizadas de modo a formar diversos tipos de **organelas**, ou **organoides celulares**, que se integram na constituição das **células**, consideradas as unidades básicas de todos os seres vivos, com exceção dos vírus. Organelas são estruturas celulares especializadas em diversas funções; por exemplo, as mitocôndrias produzem energia para os processos metabólicos.

Do nível celular passamos ao nível seguinte, que ocorre apenas em alguns grupos de organismos multicelulares (animais e plantas): as células se especializam e se congregam, originando conjuntos celulares funcionais, os **tecidos**. O tecido muscular, por exemplo, é formado por células especializadas em se contrair, produzindo movimentos.

Diversos tipos de tecido organizam-se formando os **órgãos**, unidades anatômicas e funcionais dos seres multicelulares complexos. Por exemplo, o coração é um órgão constituído por diversos tecidos, principalmente o muscular, cuja função é bombear sangue pelo corpo.

Os órgãos atuam integradamente para o desempenho de funções corporais específicas. Um conjunto de órgãos integrados funcionalmente constitui um **sistema de órgãos**. Um exemplo de sistema corporal é o sistema digestório, formado por diversos órgãos, como boca, esôfago, estômago, intestino e diversas glândulas que atuam na digestão. Os sistemas de órgãos, em seu conjunto, compõem o nível do **organismo**. É nesse nível que estamos conversando por meio deste texto, de pessoa (organismo) para pessoa.

Átomos

Moléculas

Organelas celulares

Tecidos

Órgãos

Células

Sistemas

A hierarquia da organização biológica não para por aí; os indivíduos não vivem isolados, mas interagem entre si e com o ambiente. O conjunto de indivíduos de uma mesma espécie que habita determinada região geográfica constitui uma **população biológica**. Exemplos são as populações humanas dos diversos países, ou uma população de macacos.

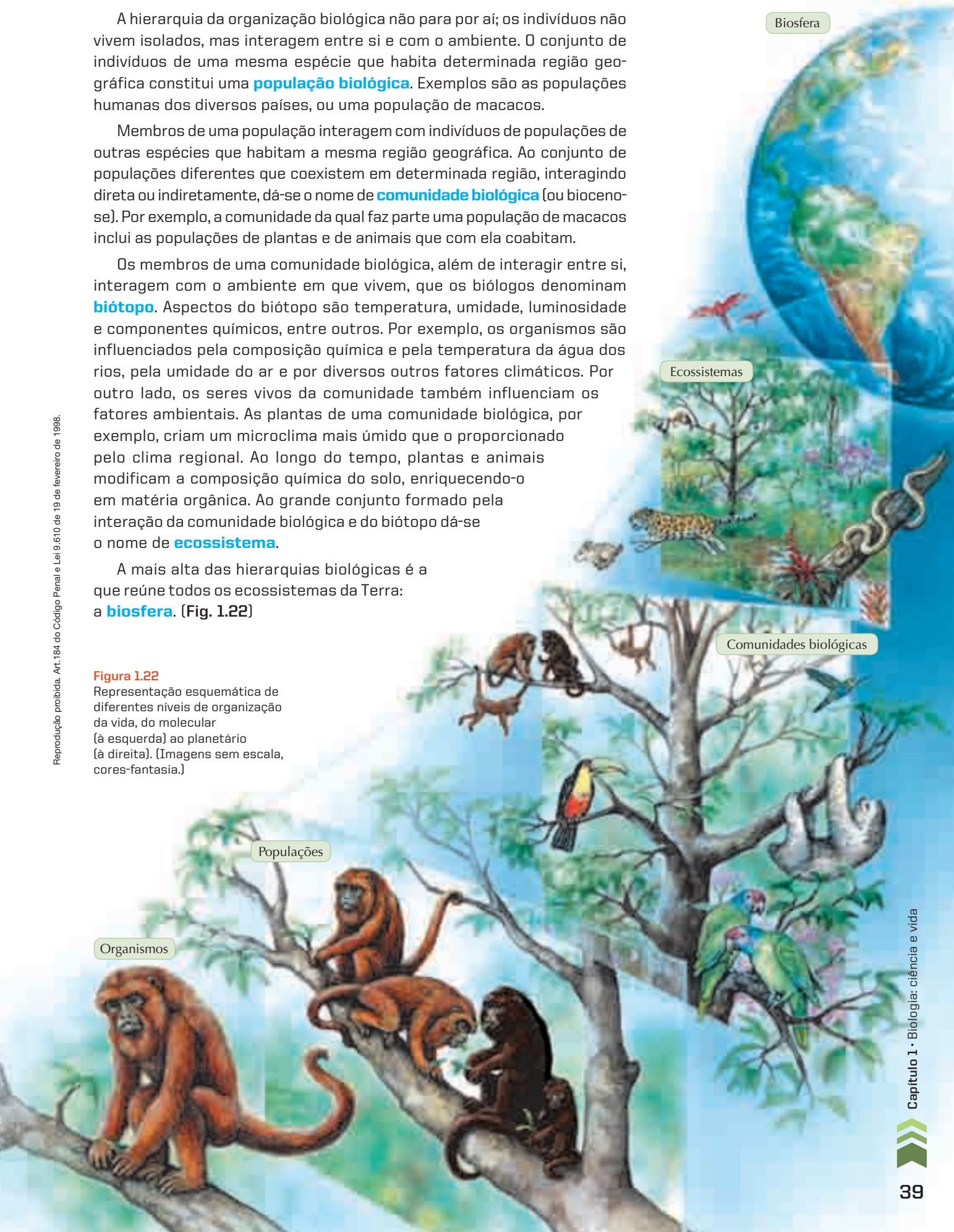
Membros de uma população interagem com indivíduos de populações de outras espécies que habitam a mesma região geográfica. Ao conjunto de populações diferentes que coexistem em determinada região, interagindo direta ou indiretamente, dá-se o nome de **comunidade biológica** (ou biocenose). Por exemplo, a comunidade da qual faz parte uma população de macacos inclui as populações de plantas e de animais que com ela coabitam.

Os membros de uma comunidade biológica, além de interagir entre si, interagem com o ambiente em que vivem, que os biólogos denominam **biótopo**. Aspectos do biótopo são temperatura, umidade, luminosidade e componentes químicos, entre outros. Por exemplo, os organismos são influenciados pela composição química e pela temperatura da água dos rios, pela umidade do ar e por diversos outros fatores climáticos. Por outro lado, os seres vivos da comunidade também influenciam os fatores ambientais. As plantas de uma comunidade biológica, por exemplo, criam um microclima mais úmido que o proporcionado pelo clima regional. Ao longo do tempo, plantas e animais modificam a composição química do solo, enriquecendo-o em matéria orgânica. Ao grande conjunto formado pela interação da comunidade biológica e do biótopo dá-se o nome de **ecossistema**.

A mais alta das hierarquias biológicas é a que reúne todos os ecossistemas da Terra: a **biosfera**. (Fig. 1.22)

Figura 1.22

Representação esquemática de diferentes níveis de organização da vida, do molecular (à esquerda) ao planetário (à direita). (Imagens sem escala, cores-fantasia.)



QUESTÕES PARA PENSAR E DISCUTIR

Questões objetivas

Considere as alternativas a seguir para responder às questões 1 e 2.

- a) Controle experimental.
- b) Experimento.
- c) Hipótese.
- d) Observação.

1. Um pesquisador demarcou uma área de floresta e contou o número de indivíduos de cada uma das diferentes espécies de árvore existentes no local. Qual das alternativas corresponde a esse tipo de atividade?
2. Com o objetivo de testar a eficiência de uma nova vacina contra uma doença chamada febre aftosa, vacinou-se um lote de vinte vacas, deixando outras vinte sem vacinar. Após algum tempo, injetou-se em todas as vacas o vírus causador da febre aftosa. O que representa o lote não vacinado?
3. “(1) Se os bichos de goiaba surgem de ovos de moscas colocados nos frutos, (2) goiabas embrulhadas não devem ficar bichadas.” As partes (1) e (2) dessa frase correspondem, respectivamente, a
 - a) dedução e hipótese.
 - b) hipótese e dedução.
 - c) hipóteses.
 - d) deduções.
4. O uso de organismos vivos para a produção de bebidas alcoólicas é um exemplo de
 - a) experimento científico.
 - b) conhecimento científico.
 - c) tecnologia.
 - d) engenharia genética.
5. O que garante a continuidade da vida em nosso planeta é a capacidade que os seres vivos têm de
 - a) crescer.
 - b) reagir a estímulos.
 - c) se movimentar.
 - d) se reproduzir.
6. O longo bico dos beija-flores, que lhes permite sugar o néctar das flores, é um exemplo de
 - a) adaptação.
 - b) movimento.
 - c) reação.
 - d) crescimento.
7. Venenos como o cianeto matam porque bloqueiam reações químicas celulares. Pode-se dizer, assim, que esses venenos atuam diretamente sobre a(o)
 - a) homeostase.
 - b) reação.
 - c) metabolismo.
 - d) crescimento.
8. O açúcar de cana, formado por átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio unidos entre si, é um exemplo de
 - a) elemento químico.
 - b) substância orgânica.
 - c) célula.
 - d) tecido.

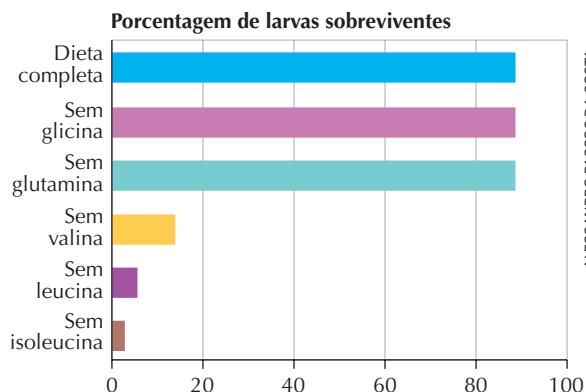
Considere as alternativas a seguir para responder às questões de 9 a 11.

- a) Organismo.
- b) População.
- c) Comunidade biológica.
- d) Ecossistema.

9. O conjunto de micos-leões-dourados que habitam uma mata no Rio de Janeiro corresponde a que nível de organização?
10. Um lago, com seus habitantes em interação com os fatores físicos e químicos, é um exemplo de que nível de organização?
11. A que nível de organização corresponde o conjunto de seres vivos que habitam um lago?

Questões discursivas

12. Foi o médico inglês Edward Jenner quem desenvolveu um método de prevenção contra a varíola que mais tarde seria chamado vacinação. O interesse de Jenner pela varíola parece ter surgido quando ouviu uma ordenhadora de vacas se vangloriar de ser imune à varíola humana, segundo ela porque já havia contraído anteriormente varíola bovina. Jenner teve, então, a ideia de transmitir varíola bovina a pessoas, para verificar se elas se tornariam imunes à varíola humana, doença muito mais perigosa que a varíola bovina. Em maio de 1796, ele injetou, em um menino de oito anos, material retirado das erupções cutâneas das mãos de uma ordenhadora atacada pela varíola bovina. Dois meses depois, injetou no mesmo menino material retirado de erupções cutâneas de uma pessoa atacada por varíola humana. Como se imaginava, o menino não desenvolveu a forma grave da doença. O método foi testado diversas vezes por Jenner e por outros médicos, confirmando a eficácia do tratamento, que logo se difundiu por toda a Europa.
 - a) Enuncie a hipótese testada por Jenner.
 - b) Como Jenner testou sua hipótese?
13. Pesquisadores realizaram o seguinte experimento: alimentaram larvas de uma espécie de mosca com dietas que diferiam quanto à presença de aminoácidos, substâncias que fazem parte das proteínas. Um grupo de larvas foi alimentado com uma dieta completa, com todos os 20 tipos de aminoácidos que constituem as proteínas, além de água, sais, açúcares e vitaminas. Cinco outros grupos de larvas, semelhantes ao primeiro, foram alimentados com dietas nas quais faltava um ou outro dos aminoácidos. Os resultados obtidos pelos cientistas estão representados no gráfico a seguir.



A partir dessas informações, responda às seguintes questões:

- a) Qual era a provável hipótese testada pelos cientistas?
 - b) Qual grupo de larvas representa o controle experimental e qual é sua importância para o experimento?
 - c) Qual foi a variável testada nos grupos experimentais?
 - d) A que conclusões podemos chegar com base nos resultados experimentais?
14. Pesquise definições de ciência e de tecnologia em dicionários, enciclopédias etc. Pergunte a pessoas ligadas aos meios científico e tecnológico (professores, médicos, biólogos, físicos, químicos, engenheiros etc.) quais as suas concepções de ciência e de tecnologia (não se esqueça de gravar as respostas ou de anotá-las imediatamente). Elabore uma lista com as definições que julgar mais claras, precisas e interessantes. Escolha a melhor definição de ciência e de tecnologia entre as pesquisadas, ou elabore a sua, reunindo os melhores pontos de vista de cada definição encontrada.
15. Para saber mais sobre a origem da ciência, é fundamental pesquisar o período histórico conhecido como Renascimento, o grande movimento artístico e cultural ocorrido entre os séculos XIV e XVI na Europa. Organize um grupo, consulte sua professora ou professor de História e peça orientações sobre o assunto. Lembre-se de que cruzar informações provenientes de diferentes áreas do conhecimento permite compreender mais amplamente o mundo.



VESTIBULARES PELO BRASIL

Questões objetivas

1. (Cesmac/Fejal-AL) Aquele tipo de conhecimento que, quando fundamentado na objetividade e na evidência de fatos demonstrados experimentalmente, adquire um caráter de validade geral, denomina-se
 - a) científico.
 - b) empírico.
 - c) intuitivo.
 - d) filosófico.
2. (Fuvest-SP) Observando plantas de milho, com folhas amareladas, um estudante de agronomia considerou que essa aparência poderia ser devida à deficiência mineral do solo. Sabendo que a clorofila contém magnésio, ele formulou a seguinte hipótese: "As folhas amareladas aparecem quando há deficiência de sais de magnésio no solo". Qual das alternativas descreve um experimento correto para testar tal hipótese?
 - a) Fornecimento de sais de magnésio ao solo em que as plantas estão crescendo e observação dos resultados alguns dias depois.
 - b) Fornecimento de uma mistura de diversos sais minerais, inclusive sais de magnésio, ao solo em que as plantas estão crescendo e observação dos resultados dias depois.
 - c) Cultivo de um novo lote de plantas, em solo suplementado com uma mistura completa de sais minerais, incluindo sais de magnésio.
 - d) Cultivo de novos lotes de plantas, fornecendo à metade deles mistura completa de sais minerais, inclusive sais de magnésio, e à outra metade, apenas sais de magnésio.
 - e) Cultivo de novos lotes de plantas, fornecendo à metade deles mistura completa de sais minerais, inclusive sais de magnésio, e à outra metade, uma mistura com os mesmos sais, menos os de magnésio.
3. (Vunesp) A sequência indica os crescentes níveis de organização biológica:
célula → I → II → III → população → IV → V → biosfera.
Os níveis I, III e IV correspondem, respectivamente, a
 - a) órgão, organismo e comunidade.
 - b) tecido, organismo e comunidade.
 - c) órgão, tecido e ecossistema.
 - d) tecido, órgão e bioma.
 - e) tecido, comunidade e ecossistema.
4. (Unigranrio-RJ) A interação dos componentes de uma comunidade biológica entre si e com os fatores abióticos forma um(a)
 - a) ecossistema.
 - b) população.
 - c) espécie animal ou vegetal.
 - d) conjunto de organismos da mesma espécie.
5. (Acafe-SC) "O Projeto de pesquisa, que existe desde 2001, ainda está longe do fim, explica a pesquisadora. É um processo demorado mesmo. Porém, com mais um ano, já teremos novos resultados, quem sabe, ainda mais positivos."
"A expectativa do grupo é saber se a ação contra o causador da malária vai ser realmente confirmada. Vamos ver a viabilidade disso nos modelos experimentais [animais]."
"O estudo feito pela UnB, em parte, também contou com a participação da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). O processo de isolamento e síntese dos peptídeos já está patenteado."
Sobre a atividade científica, podemos inferir:
 - a) O conhecimento científico é o único tipo de conhecimento válido, já que é produzido por meio de métodos experimentais preciosos e seguros.
 - b) A veracidade dos conhecimentos produzidos pela ciência é efêmera. Isto significa que aquilo que a ciência, hoje, intitula como válido, pode não ser verdade amanhã.
 - c) A ciência é um empreendimento autônomo que não depende de esforços políticos nem econômicos. Ela se automantém.
 - d) A visão de mundo de cada época não interfere na produção do conhecimento científico.
 - e) A atividade científica deve ser desenvolvida sem levar em consideração suas implicações sociais, já que o objetivo dos cientistas é descobrir a verdade dos fenômenos naturais.



Origem da vida na Terra

Como a vida surgiu na Terra, o terceiro planeta do Sistema Solar? Esse é o tema principal deste capítulo, em que apresentamos ideias científicas atuais sobre a origem da vida em nosso planeta.

› 2.1 Abiogênese versus biogênese

As discussões que acabaram por derrubar a abiogênese, ou teoria da geração espontânea, trouxeram novas visões sobre os seres microscópicos e melhorias para a vida humana, além de abrir caminho para a discussão sobre a origem da vida da Terra.

› 2.2 Teorias modernas sobre a origem da vida

Há diversas evidências de que as substâncias precursoras da vida estavam presentes na Terra primitiva. Como essas substâncias teriam originado os primeiros seres vivos? Responder a essa questão é um dos grandes desafios da Biologia.

› 2.3 Evolução e diversificação da vida

A história da vida na Terra baseia-se em teorias científicas bem consolidadas. Os cientistas têm conseguido relacionar momentos importantes na evolução da vida à história geológica de nosso planeta.



A Terra vista do espaço em imagem de satélite, mostrando a América do Sul, a América Central e parte da América do Norte. De um polo a outro, o planeta é repleto de seres vivos. O conjunto de áreas da Terra em que há condições propícias à vida, com sua enorme diversidade de ambientes e de seres vivos, é a biosfera.

Abiogênese versus biogênese

Habilidade sugerida

► Conhecer a polêmica entre os defensores da abiogênese e os defensores da biogênese, reconhecendo a importância do debate de ideias como essas para o desenvolvimento da cultura humana.

Conceitos principais

- teoria da geração espontânea (abiogênese)
- biogênese
- microrganismo

1 A teoria da geração espontânea

Os avanços do conhecimento científico, a partir do século XVIII, abriram caminho para as modernas discussões sobre a origem da vida na Terra. Contribuíram para essas discussões: os experimentos do pesquisador francês Louis Pasteur, que sepultaram a ideia de que seres vivos podiam surgir por geração espontânea; e a teoria evolucionista do naturalista inglês Charles Darwin, segundo a qual os primeiros seres vivos surgiram num passado remoto e desde então evoluíram, originando a variedade de seres atuais.

A ideia de que alguns seres vivos podiam surgir por outros processos além da reprodução foi muito difundida até meados do século XIX, sendo conhecida como **teoria da geração espontânea**, ou **teoria da abiogênese**. Admitia-se, por exemplo, que serpentes, rãs e crocodilos podiam se formar a partir da lama de lagos e rios, e que gansos podiam surgir pela transformação de crustáceos marinhos. (Fig. 2.1)

O filósofo grego Aristóteles (384-322 a.C.) admitia a geração espontânea, e seu pensamento levou filósofos e cientistas ilustres do Renascimento, como o francês René Descartes (1596-1650) e o inglês Isaac Newton (1642-1727), a adotarem a abiogênese para explicar a origem de certos organismos. Ficou famoso por sua originalidade o médico de Bruxelas e pesquisador da fisiologia das plantas Jan Baptista van Helmont (1577-1644), que elaborou um método para produzir ratos por geração espontânea.

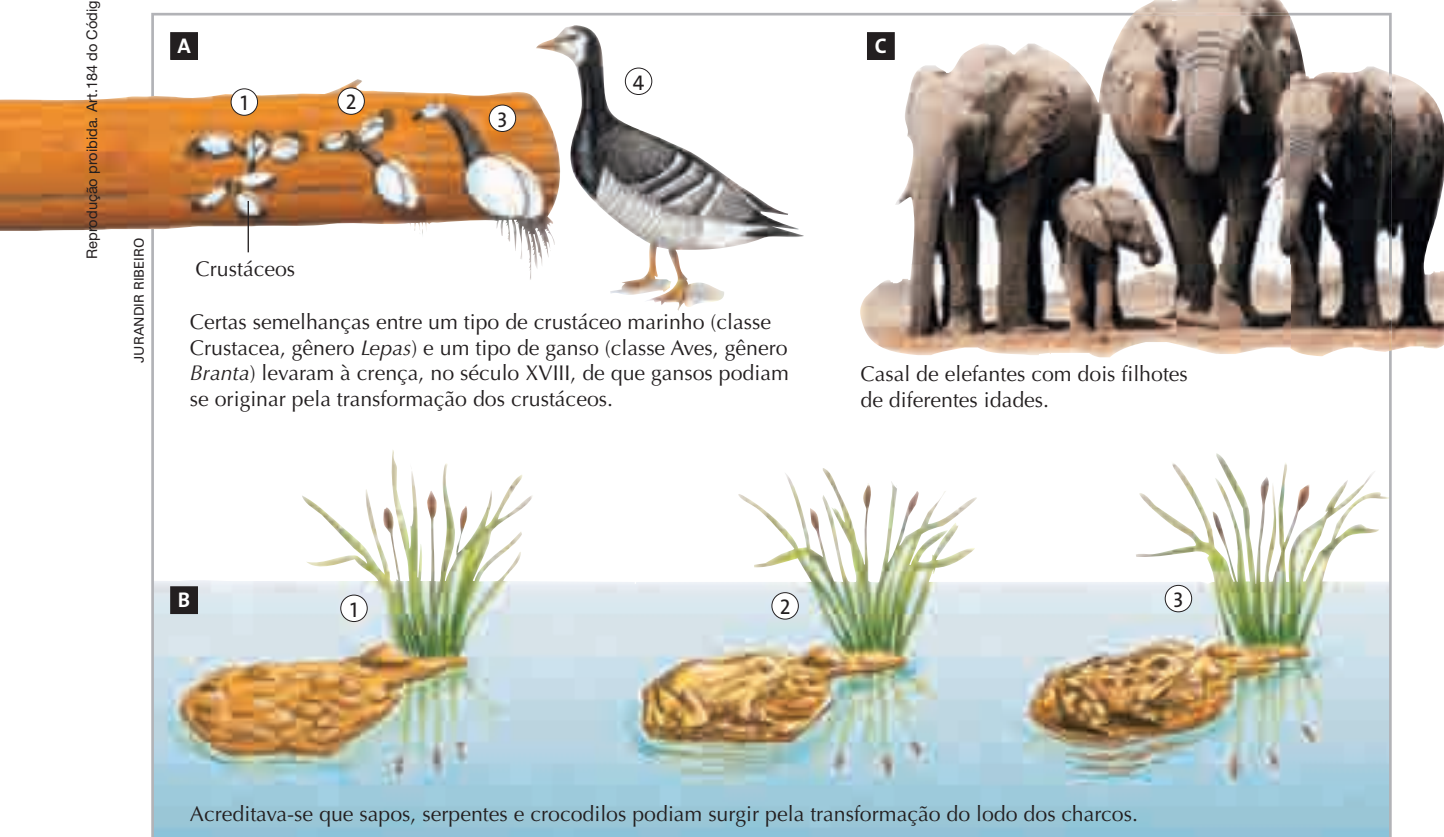


Figura 2.1 A. e B. Ideias antigas sobre a origem dos seres vivos. (Imagens sem escala, cores-fantasia.) C. A Biologia moderna tem como premissa básica a ideia de que um ser vivo pode originar-se apenas pela reprodução de seres semelhantes.

Dizia ele: “[...] colocam-se, num canto sossegado e pouco iluminado, camisas sujas. Sobre elas espalham-se grãos de trigo e o resultado será que, em vinte e um dias, surgirão ratos [...]”. Van Helmont acreditava tanto na geração espontânea que nem considerava a possibilidade de os ratos serem atraídos pelas condições favoráveis (abrigo e alimento) e não produzidos espontaneamente.

A crença na abiogênese não resistiu, porém, à expansão do conhecimento científico e aos rigorosos testes efetuados por cientistas criteriosos como Redi, Spallanzani e Pasteur, dentre outros. Esses pesquisadores forneceram evidências irrefutáveis de que seres vivos surgem somente pela reprodução de seres de sua própria espécie, teoria que ficou conhecida como **biogênese**.

2 O experimento de Redi

Um dos primeiros experimentos científicos sobre a origem de seres vivos foi realizado pelo médico italiano Francesco Redi (1626-1697), em meados do século XVII. Na época, muitos acreditavam que os seres vermiformes que surgem nos cadáveres de pessoas e animais eram resultantes da transformação espontânea da carne em putrefação. Redi não aceitava essa ideia e formulou a hipótese de que tais “vermes” eram estágios imaturos (larvas) do ciclo de vida de moscas. Ele afirmava que as larvas nasciam de ovos colocados por moscas na carne e não por geração espontânea.



Figura 2.2 A. Representação do experimento de Redi, que descartou a hipótese da geração espontânea dos “vermes” (larvas) da carne em putrefação. No frasco à esquerda, tapado com gaze, não surgiram larvas. No frasco à direita, onde as moscas puderam entrar, apareceram larvas, que se alimentavam da carne. (Imagens sem escala, cores-fantasia.) B. Pintura *Aquiles contemplando o corpo de Pátrocles*, ≈ 1700, de Giovanni Antonio Pellegrini. Essa cena, relatada por Homero na *Ilíada*, serviu de inspiração para Redi idealizar seu experimento.

Em seu livro intitulado “Experimentos sobre a geração de insetos” (em latim, *Experimenta circa generationem insectorum*), Redi conta como teve a ideia de que os “vermes” dos cadáveres eram parte do ciclo de vida de moscas. Ao ler o poema épico *Ilíada*, datado dos séculos VIII ou IX a.C. e cuja autoria é atribuída ao grego Homero, o médico italiano se perguntou: “[...] por que, no canto XIX da *Ilíada*, Aquiles teme que o corpo de Pátrocles se torne presa das moscas? Por que ele pede a Tétis que proteja o corpo contra os insetos que poderiam dar origem a vermes e assim corromper a carne do morto?”. E concluiu que os antigos gregos já sabiam que as larvas encontradas nos cadáveres se originavam de moscas que pousavam sobre eles e ali depositavam seus ovos.

Seguindo os procedimentos da ciência moderna, Redi fez o seguinte raciocínio: se os “vermes” (larvas) surgem a partir de ovos colocados por moscas – essa é a hipótese –, então eles não aparecerão se impedirmos que moscas pousem na carne – essa é uma dedução a partir da hipótese.

Para testar a hipótese, Redi realizou o seguinte experimento: colocou animais mortos em frascos de boca larga, vedou alguns deles com uma gaze muito fina e deixou outros abertos. Nestes últimos, nos quais as moscas podiam entrar ou deles sair livremente, logo surgiram “vermes”. Nos frascos tapados com a gaze, que impedia a entrada das moscas, não apareceu nenhum “verme”, mesmo depois de muitos dias. A dedução feita a partir da hipótese confirmou-se e esta foi aceita. (Fig. 2.2)

A teoria da geração espontânea, que perdera credibilidade com o experimento de Redi, voltou a ser utilizada para explicar a origem dos seres microscópicos, ou **microrganismos**, descobertos em meados do século XVII pelo holandês Antonie van Leeuwenhoek (1632-1723). (Fig. 2.3)

A teoria da geração espontânea parecia adequada para explicar a origem dos microrganismos, pois era difícil imaginar que seres aparentemente tão simples e variados, presentes em quase todos os lugares, pudessem surgir por meio da reprodução. Muitos estudiosos, porém, estavam convencidos de que a geração espontânea não ocorria, nem para seres grandes, nem para seres microscópicos.

DR. JEREMY BURGESS/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK - SOCIEDADE REAL - LONDRES

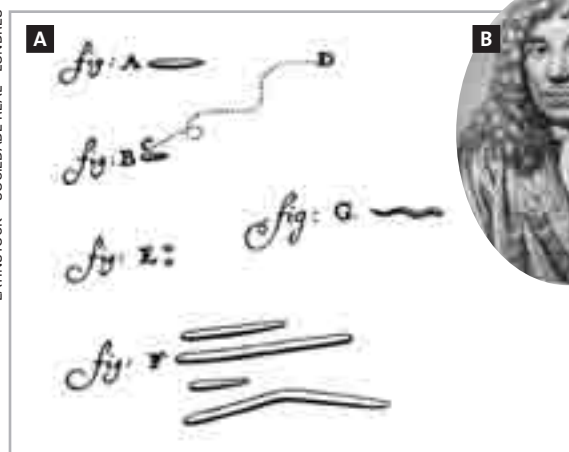


Figura 2.3 Em **A**, desenhos de seres microscópicos, popularmente chamados de micróbios, realizados por Antonie van Leeuwenhoek em 1683. Em **B**, Leeuwenhoek (pintura de Van I. Verkolje, de 1690).

3 O experimento de Joblot

Em 1711, o francês Louis Joblot (1645-1723) realizou um experimento no qual distribuiu, em frascos cuidadosamente limpos, caldo nutritivo preparado à base de carne e previamente fervido, de modo a matar todos os microrganismos eventualmente presentes. Alguns dos frascos foram mantidos abertos, enquanto outros foram tapados com um pergaminho (feito com pele animal). Após alguns dias, Joblot observou os caldos dos frascos ao microscópio; no dos frascos destapados, havia grande quantidade de microrganismos, ausentes no caldo dos frascos tapados.

Com esse experimento, o cientista francês acreditou ter resolvido o problema da origem dos seres microscópicos. Ele concluiu que os microrganismos surgiam a partir de “sementes” provenientes do ar e não pela transformação espontânea da matéria inanimada constituinte do caldo nutritivo.

4 Needham versus Spallanzani

A hipótese da geração espontânea, no entanto, não estava derrotada. Em 1745, o inglês John Needham (1713-1781) distribuiu um caldo nutritivo em diversos frascos, que foram fervidos por 30 minutos e imediatamente fechados com rolhas de cortiça. Depois de alguns dias, os caldos estavam repletos de seres microscópicos.

Assumindo que a fervura eliminara todos os seres eventualmente existentes no caldo original e que nenhum ser vivo poderia ter penetrado através das rolhas, Needham argumentou que só havia uma explicação para a presença de microrganismos nos frascos: eles haviam surgido por geração espontânea.

Dando continuidade à polêmica, o padre e pesquisador italiano Lazzaro Spallanzani (1729-1799) refez os experimentos de Needham. Ele preparou oito frascos com caldos nutritivos previamente fervidos: quatro deles foram fechados com rolhas de cortiça, como fizera Needham, e os outros quatro tiveram os gargalos derretidos no fogo; além disso, estes últimos frascos foram fervidos por longo tempo. Após alguns dias, microrganismos haviam surgido nos frascos arrolhados com cortiça, mas não nos frascos cujos gargalos tinham sido hermeticamente fechados no fogo. Spallanzani concluiu que a vedação e/ou o tempo de fervura utilizados por Needham haviam sido ineficientes para impedir a contaminação do caldo.

Em resposta, Needham alegou que, devido à fervura prolongada, o caldo poderia ter perdido sua “força vital”, um princípio imaterial que seria indispensável ao surgimento de vida.

Spallanzani, então, quebrou os gargalos fundidos de alguns frascos que ainda se mantinham livres de microrganismos, expondo seu conteúdo ao ar. Em pouco tempo, eles ficaram repletos de microrganismos, mostrando que a fervura prolongada não havia destruído a “força vital” do caldo.

Needham contra-argumentou mais uma vez, sugerindo a hipótese de que o princípio ativo, embora deteriorado pelo longo tempo de fervura, se restabelecera com a entrada de ar fresco, permitindo que os microrganismos surgissem espontaneamente. Dessa vez, Spallanzani não conseguiu elaborar um experimento para descartar esse argumento e a controvérsia não foi resolvida.

No início da década de 1860, a Academia Francesa de Ciências ofereceu um prêmio em dinheiro para quem realizasse um experimento definitivo sobre a origem dos microrganismos. Estimulado pelo desafio, Louis Pasteur começou a trabalhar no assunto. Em um experimento, ele preparou quatro frascos de vidro com caldos nutritivos, amoleceu seus gargalos no fogo, esticando-os e curvando-os em forma de um pescoço de cisne. Em seguida, aqueceu os frascos com caldo até que saísse vapor pelas extremidades dos gargalos e deixou que resfriassem. O objetivo de Pasteur, ao curvar os gargalos dos frascos, era permitir a entrada do ar, mas fazer com que as partículas em suspensão ficassem retidas nas paredes do gargalo curvo, que funcionava como um filtro.

Apesar de o caldo estar em contato direto com o ar, em nenhum dos quatro frascos com “pescoço de cisne” surgiram microrganismos. Os microrganismos do ar ficavam retidos nas curvas do gargalo e não conseguiam chegar ao líquido do frasco. Então Pasteur quebrou os gargalos de alguns dos frascos e verificou que, em poucos dias, seus conteúdos ficaram repletos de microrganismos. Esses experimentos demonstraram irrefutavelmente que o surgimento de microrganismos em caldos nutritivos se dá pela contaminação por germes provenientes do ambiente externo e não por geração espontânea. (Fig. 2.4)

CIÊNCIA E CIDADANIA

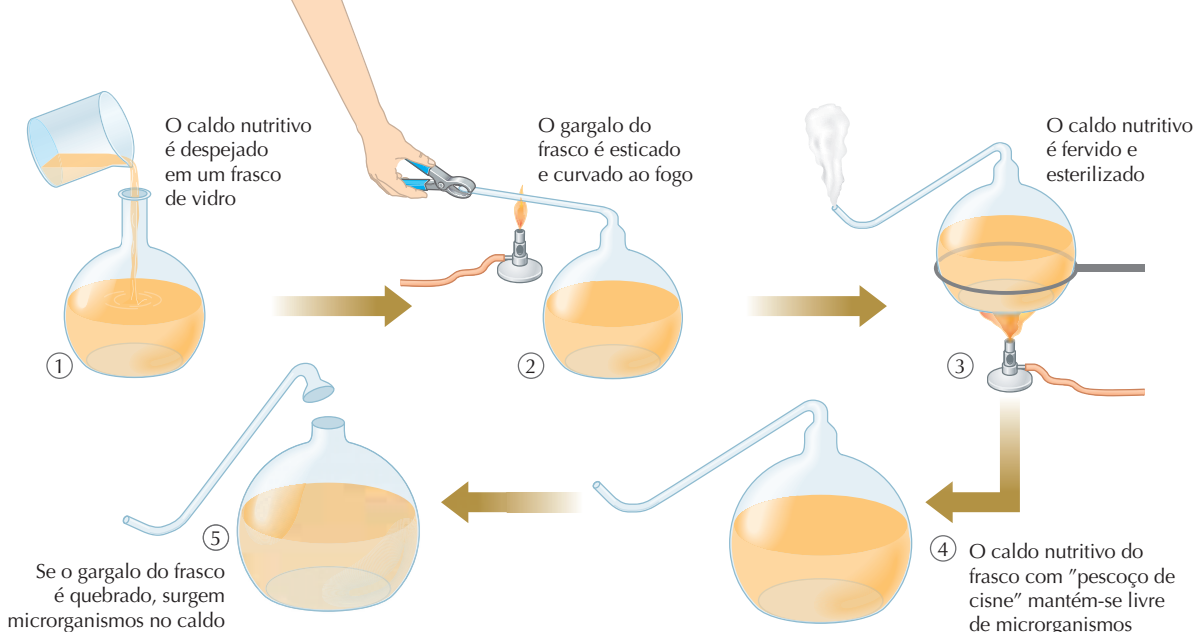
Pesquisas sobre geração espontânea levam a novas tecnologias

A invenção da indústria dos enlatados

1 É interessante pensar que foram os experimentos de Spallanzani sobre geração espontânea que abriram caminho para o desenvolvimento da indústria de alimentos enlatados. Ao saber das pesquisas e controvérsias sobre a origem dos microrganismos, o confeitiro francês Nicholas Appert (1749-1841) suspeitou que eles realmente poderiam ser responsáveis pela deterioração dos alimentos, problema então enfrentado pelos fabricantes de produtos alimentícios. Partindo do princípio de que caldos nutritivos previamente fervidos poderiam ser guardados sob vedação hermética sem se estragar, como Spallanzani havia demonstrado, Appert desenvolveu uma tecnologia para produzir alimentos enlatados, os quais poderiam ser armazenados por longo tempo sem sofrer deterioração. (Fig. 2.5)



Figura 2.5 Uma das consequências práticas das polêmicas sobre a origem dos microrganismos foi o surgimento da indústria dos enlatados. Os alimentos, esterilizados e hermeticamente fechados nas latas, preservam-se da ação de microrganismos decompositores e duram por muito mais tempo.



ADILSON SECCO

Figura 2.4 Representação da sequência de etapas do célebre experimento realizado por Pasteur, que sepultou definitivamente a teoria da geração espontânea. [Imagens sem escala, cores-fantasia.]

A origem da pasteurização

2 A pasteurização, processo de eliminação seletiva de microrganismos pelo aquecimento brando, é hoje largamente empregada na indústria de alimentos. Em diversos países, inclusive no Brasil, é obrigatório pasteurizar o leite e seus derivados antes de comercializá-los. Nesse processo, o leite é mantido a 62 °C por 30 minutos, o que elimina a bactéria *Mycobacterium tuberculosis*, um microrganismo frequentemente presente no gado bovino e que pode causar tuberculose em seres humanos. O tratamento elimina também a maioria dos microrganismos responsáveis pela deterioração do leite, prolongando sua vida útil.

3 A história da origem do processo remonta à década de 1850. Nessa época, o pesquisador francês Louis Pasteur (1822-1895), já famoso por seus estudos sobre os microrganismos, interessou-se por um problema de deterioração do vinho, que afetava a indústria vinícola

de Arbois, sua terra natal. Em experimentos anteriores, ele próprio já demonstrara que a transformação do suco de uvas em vinho resulta da atividade de microrganismos denominados leveduras, ou fermentos. Sua hipótese, agora, era que a deterioração do vinho era decorrente da contaminação por algum outro tipo de microrganismo.

4 Ao observar ao microscópio amostras de vinhos estragados, Pasteur encontrou outros microrganismos além das leveduras, o que reforçava sua hipótese. A questão era: como se livrar desses invasores indesejáveis sem alterar o sabor do vinho? Este não podia ser fervido, pois perderia totalmente suas qualidades.

5 Pasteur descobriu que o aquecimento do vinho por apenas alguns minutos, a 57 °C, era suficiente para eliminar os microrganismos indesejáveis sem alterar o sabor da bebida; estava inventado o processo que em sua homenagem recebeu o nome de pasteurização.

GUIA DE LEITURA

1. Leia o primeiro parágrafo do quadro e responda: que conhecimentos científicos foram utilizados para gerar a tecnologia referida no texto?
2. O parágrafo 2 do quadro pertence ao subitem *A origem da pasteurização*. Antes de ler, pense se já ouviu falar nesse processo. Leia o parágrafo e responda resumidamente: o que é pasteurização? Por que usar temperaturas relativamente baixas e não simplesmente

ferver o leite? Uma informação para responder esta questão pode ser encontrada no último parágrafo do quadro.

3. Leia o terceiro e o quarto parágrafos do quadro, que se refere à história da descoberta da pasteurização pelo francês Louis Pasteur. Escreva um pequeno texto que relacione os conhecimentos científicos mencionados e a tecnologia da pasteurização.

- 1 Em 1865, Pasteur foi chamado ao sul da França para ajudar a combater uma doença que atacava as lagartas de bicho-da-seda e causava enormes prejuízos à indústria têxtil de seda. Embora conhecesse pouco esses animais, o cientista francês aceitou esse novo desafio.
- 2 Depois de várias experiências malsucedidas, Pasteur e seus colaboradores descobriram que as lagartas sadias ficavam doentes depois de comer as fezes ou os cadáveres de lagartas afetadas pela doença. Nesse caso, no corpo das lagartas apareciam glóbulos microscópicos, que aumentavam em número à medida que a enfermidade progredia. Os pesquisadores concluíram que esses glóbulos microscópicos eram microrganismos parasitas, responsáveis pela doença. Os criadores foram orientados a eliminar as lagartas doentes e a realizar um exame microscópico das fêmeas após a postura, utilizando apenas os ovos daquelas comprovadamente sadias. Com isso, a praga foi controlada.
- 3 Entusiasmado com o sucesso obtido na erradicação da doença das lagartas e imaginando que doenças humanas também poderiam ser causadas por microrganismos, Pasteur escreveu: “Está no poder da humanidade fazer com que as doenças parasitárias desapareçam da face da Terra, se a doutrina da geração espontânea é falsa, como estou certo que é”.
- 4 Influenciado pelas ideias de Pasteur, o médico escocês Joseph Lister (1827-1912) imaginou que a grande mortalidade de pessoas submetidas a cirurgias podia ser provocada por microrganismos infecciosos vindos do ar. Lister passou a usar substâncias desinfetantes nos instrumentos, no ambiente e nas ataduras que recobriam os cortes cirúrgicos. Devido a essa prática, a mortalidade entre os pacientes operados em seu hospital caiu de 45% para 15%, de 1865 a 1869.
- 5 Enquanto Pasteur fazia pesquisas com vinhos, cervejas e doenças das lagartas, o jovem médico alemão Robert Koch (1843-1910), sem formação em pesquisa e munido apenas de um microscópio, estava prestes a demonstrar que certos microrganismos realmente podiam causar doenças e morte. Koch encontrou microrganismos no sangue de ovelhas mortas pela doença conhecida como antraz, que afeta animais herbívoros e eventualmente ataca seres humanos, podendo levar à morte. Ele isolou esses microrganismos e transferiu-os para o humor aquoso de olho de vaca, utilizado como meio nutritivo. Depois que os microrganismos se multiplicaram, injetou-os em ratos sadios, que logo contraíram a doença.
- 6 Koch também descobriu que os microrganismos transmissores do antraz produziam esporos resistentes, que podiam ficar dormentes no capim dos pastos por longo tempo até serem ingeridos por um herbívoro e causar a doença. Essa foi a primeira demonstração irrefutável de que microrganismos podiam provocar doenças contagiosas. Em sua incessante caça aos microrganismos “assassinos”, Koch acabou descobrindo os causadores da tuberculose e da cólera, dentre outros.
- 7 Ao tomar conhecimento das descobertas de Koch, Pasteur resolveu aprofundar o estudo dos microrganismos causadores do antraz. Ele e seus colaboradores isolaram linhagens atenuadas desses micróbios, que produziam sintomas brandos de antraz quando injetadas em ovelhas. Após se restabelecerem, os animais injetados tornavam-se imunes à doença, mesmo quando reinjetados com as linhagens microbianas mais contagiosas. Surgia, assim, a primeira forma de vacinação contra o antraz.

8 Pasteur voltou-se, então, para outra terrível doença, a raiva, que provocava a morte dolorosa de animais e pessoas. Apesar de não ter conseguido identificar microscopicamente o agente causador da raiva (o que o levou a concluir que se tratava de um ser muito pequeno), Pasteur conseguiu cultivá-lo no sistema nervoso de coelhos vivos; com esses micróbios, ele desenvolveu uma das primeiras formas de tratamento contra a raiva. (Fig. 2.6)



Figura 2.6 Retratos de Louis Pasteur (*Louis Pasteur em seu laboratório*, pintura de A. Edelfeldt, de 1885), à esquerda, e de Robert Koch (1880), à direita, considerados, respectivamente, os fundadores da Imunologia e da Bacteriologia.

GUIA DE LEITURA

1. Leia os dois parágrafos iniciais do quadro. Segundo Pasteur, qual era a hipótese para a origem e disseminação da doença das lagartas?
2. Ainda sobre o segundo parágrafo, que procedimentos adotados constituíram um teste dessa hipótese?
3. No terceiro parágrafo do quadro, Pasteur apresenta o que pode ser considerado uma teoria microbiana para as doenças. Como você a enunciaria?
4. Leia o quarto parágrafo e responda: como Lister testou a hipótese de Pasteur de que a causa de muitas doenças eram microrganismos? Que resultados deram suporte à veracidade dessa hipótese?
5. O quinto parágrafo do quadro descreve o procedimento científico adotado por Robert Koch para demonstrar que o antraz é causado por um agente infeccioso. A partir da leitura, responda resumidamente:
 - a) qual era sua hipótese para a causa do antraz?
 - b) como Koch testou essa hipótese?
6. Com referência ao sexto parágrafo, que descoberta levou a uma nova hipótese sobre a disseminação do antraz?
7. Leia o texto a seguir, extraído da internet: *“Um pó branco e mortal que passou a ser recebido pelo correio assustou muita gente. Conheça o antraz, uma doença bacteriana...”*. Há alguns anos, o antraz foi utilizado como uma forma de bioterrorismo. Esse pode ser um bom tema de pesquisa na internet.
8. Leia o parágrafo de número 7, que apresenta a criação pioneira, por Pasteur, de uma vacina contra o antraz. Com base no texto e em seus conhecimentos sobre o assunto, como você definiria “vacinação”?
9. Leia o oitavo e último parágrafo do quadro, que trata da descoberta da transmissão infecciosa da raiva. Pasteur não conseguiu identificar microscopicamente o agente causador da raiva, embora pudesse cultivá-lo. Pesquise: o agente causador do antraz é um vírus ou uma bactéria? E o agente causador da raiva? Com base nessas pesquisas, é possível explicar por que Pasteur não conseguiu visualizar este último?

Teorias modernas sobre a origem da vida

Habilidades sugeridas

- Conhecer, em linhas gerais, as condições reinantes na Terra primitiva antes do surgimento da vida.
- Conhecer os principais passos que teriam levado à origem dos primeiros seres vivos: formação de substâncias orgânicas precursoras, sua organização em sistemas isolados e aparecimento da reprodução.
- Comparar as hipóteses heterotrófica e autotrófica para a origem da vida e justificar a tendência atual de aceitar a hipótese autotrófica.

Conceitos principais

- panspermia
- teoria da evolução química
- autotrófico
- heterotrófico
- hipótese heterotrófica
- fermentação
- hipótese autotrófica
- fotossíntese
- respiração aeróbia

1 A formação da Terra

Há evidências científicas de que a Terra surgiu há aproximadamente 4,56 bilhões de anos, a partir da aglomeração de poeira, rochas e gases que giravam ao redor do Sol em formação. A maioria dos cientistas acredita que o processo de aglomeração gerou tanta pressão e calor que o material rochoso se fundiu, originando uma esfera incandescente, a Terra. A partir de então, o planeta começou lentamente a esfriar devido à irradiação de calor para o espaço.

Durante os primeiros 700 milhões de anos de existência, a Terra foi bombardeada por corpos rochosos vindos do espaço, muitos com centenas de quilômetros de diâmetro. Acredita-se que alguns desses corpos fossem cometas ou asteroides, que teriam trazido a maior parte da água hoje presente na Terra.

Quando a Terra tinha cerca de 1 milhão de anos de idade, sua superfície já havia esfriado o bastante para permitir a existência de uma crosta sólida. Em breve, a água proveniente das chuvas torrenciais que então ocorriam começou a se acumular em depressões da crosta terrestre, dando início ao processo de formação dos oceanos. (Fig. 2.7)

STEVE MUNSINGER/PHOTORESEARCHERS/LATINSTOCK



Figura 2.7

Representação artística das condições que teriam ocorrido na Terra primitiva. Lavas incandescentes cobriam grande parte da superfície terrestre, que era continuamente bombardeada por corpos provenientes do espaço. Supõe-se que o choque de um enorme asteroide arrancou um pedaço da Terra e originou a Lua.

2 Panspermia e evolução química

A queda definitiva da teoria da geração espontânea levou a uma nova questão: se os seres vivos não surgem espontaneamente da matéria inanimada, então como foi que eles surgiram na Terra? A ciência admite atualmente duas hipóteses para explicar a origem da vida no planeta: a panspermia e a teoria da evolução química.

Segundo a **panspermia**, a vida na Terra originou-se a partir de substâncias precursoras da vida, ou mesmo de seres vivos, provenientes de outros locais do cosmo. Essas ideias surgiram entre o fim do século XIX e o início do século XX, tendo entre seus primeiros defensores o físico irlandês William Thomson (1824-1907), mais conhecido como Lord Kelvin, e o químico sueco Svante August Arrhenius (1859-1927). Atualmente, a teoria da panspermia voltou a ganhar força com a descoberta de moléculas orgânicas em cometas e outros corpos celestes; isso sugere que o espaço interestelar não é um ambiente tão hostil à vida como se pensava.

A **teoria da evolução química**, também chamada **teoria da evolução molecular**, foi proposta inicialmente pelo biólogo inglês Thomas Huxley (1825-1895) e retomada na década de 1920 pelo biólogo inglês John Burdon S. Haldane (1892-1964) e pelo bioquímico russo Aleksandr I. Oparin (1894-1980). De acordo com essa teoria, a vida é resultado de um processo de evolução química em que compostos inorgânicos se combinaram, originando moléculas orgânicas simples, como aminoácidos, açúcares, bases nitrogenadas, ácidos graxos etc. Da combinação dessas substâncias surgiram outras ainda mais complexas, como proteínas, lipídios, ácidos nucleicos etc. Finalmente, essas substâncias originaram estruturas com capacidade de autoduplicação e metabolismo, que seriam os primeiros seres vivos.

As duas teorias não são antagônicas. Os defensores da moderna panspermia admitem que, onde quer que a vida tenha surgido, o processo deve ter ocorrido por evolução molecular. Todos concordam, também, que algumas condições são fundamentais para o surgimento da vida como a conhecemos na Terra: água em estado líquido, moléculas orgânicas e fonte de energia para as reações químicas. Os defensores da origem terrestre da vida argumentam que tais condições estavam presentes na Terra primitiva e que, portanto, não é necessário recorrer à possibilidade de viagens interplanetárias de seres ancestrais para explicar nossas origens.

3 Quais eram as condições na Terra primitiva?

Como vimos, o início da existência da Terra foi turbulento. A temperatura era altíssima, a ponto de fundir as rochas na superfície terrestre. Além disso, a jovem Terra era continuamente bombardeada por asteroides provenientes do espaço sideral. Estes se chocavam com a superfície terrestre em eventos catastróficos, contribuindo para o aumento da temperatura e da massa do planeta.

Os cientistas estimam que as colisões de corpos celestes agregaram pelo menos 10^{18} toneladas de matéria à Terra em formação. Considerando que a massa da Terra é de quase 6×10^{21} toneladas, conclui-se que parte substancial dos componentes terrestres originou-se de asteroides e meteoritos provenientes do espaço. Descobertas recentes sugerem que a maior parte da água e do elemento carbono (C) existentes na Terra chegou a bordo dos asteroides que se incorporaram ao planeta durante sua formação. A intensidade dos choques com asteroides diminuiu drasticamente entre 4,2 e 3,8 bilhões de anos atrás.

A água trazida pelos corpos celestes evaporava em decorrência do impacto e se acumulava como vapor na atmosfera da Terra em formação. Ao atingir as camadas superiores e frias da atmosfera, o vapor-d'água se condensava, produzindo nuvens carregadas e precipitando-se em forma de chuva. Devido às temperaturas elevadas da superfície terrestre, a água voltava a evaporar e o processo se repetia. Acredita-se que, na Terra de pouco mais de 500 milhões de anos de idade, tempestades torrenciais ocorreram continuamente, durante dezenas de milhões de anos.

A partir de determinado momento, a superfície da Terra já havia esfriado o suficiente para que água líquida se acumulasse nas regiões mais baixas da crosta, formando imensas áreas alagadas, precursoras dos oceanos. Foi provavelmente em um cenário como esse que surgiram os primeiros seres vivos, dos quais descendem todas as formas de vida passadas e presentes. (Fig. 2.8)

Figura 2.8 Representação artística das mudanças que teriam ocorrido gradualmente no ambiente da Terra primitiva (A, B e C) e que permitiram o surgimento da vida.



DAVID A. HARDY/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

DAVID A. HARDY/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

LYNETTE COOK/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

4 Primeiros vestígios de vida na Terra

Os cientistas que estudam a origem da vida enfrentam uma grande dificuldade: a falta de vestígios dos primeiros seres vivos, quase totalmente destruídos pelas drásticas transformações ocorridas na crosta terrestre nos primeiros milhões de anos de sua existência.

Foram encontrados vestígios de atividade biológica em rochas datadas de 2,7 bilhões de anos, provavelmente deixados por ancestrais de cianobactérias. Acredita-se, entretanto, que a vida teve início na Terra muito antes, há aproximadamente 3,5 bilhões de anos, embora não existam evidências fósseis disso.

5 Origem pré-biótica de compostos orgânicos

De onde teriam vindo as moléculas orgânicas que originaram os primeiros seres vivos? Ainda não há resposta definitiva para essa questão. Como já mencionamos, uma das possibilidades, embasada em descobertas recentes, é que substâncias precursoras da vida tenham vindo do espaço sideral, a bordo de cometas e asteroides. Algumas experiências, no entanto, mostram que a combinação química de substâncias inorgânicas gasosas presentes na Terra primitiva poderia ter dado origem a moléculas orgânicas.

O experimento de Miller

Em 1953, o estadunidense Stanley Lloyd Miller (1930-2007), então aluno do químico Harold C. Urey (1893-1981), construiu um aparelho simulador onde se tentava recriar as condições existentes na Terra primitiva. Urey acreditava que a atmosfera da Terra, em seus primórdios, era semelhante à de planetas gasosos como Júpiter, Saturno, Urano e Netuno, sendo constituída fundamentalmente por metano (CH_4), amônia (NH_3) e hidrogênio (H_2). O simulador de Miller consistia em um aparelho formado por tubos e balões de vidro interligados, no interior dos quais havia a mistura de gases supostamente presentes na Terra primitiva, além de vapor-d'água (H_2O).

A mistura gasosa era submetida a fortes descargas elétricas, que simulavam os raios produzidos durante as grandes tempestades que devem ter ocorrido no planeta em formação. No simulador, também havia um condensador que resfriava a mistura de gases. O resfriamento levava o vapor-d'água a se condensar e escorrer para a parte inferior do aparelho, onde um aquecedor fazia a água ferver e transformar-se novamente em vapor; este retornava ao sistema. Assim, Miller tentava simular as chuvas e a evaporação da água que deviam ocorrer na superfície quentíssima do jovem planeta Terra. (Fig. 2.9)

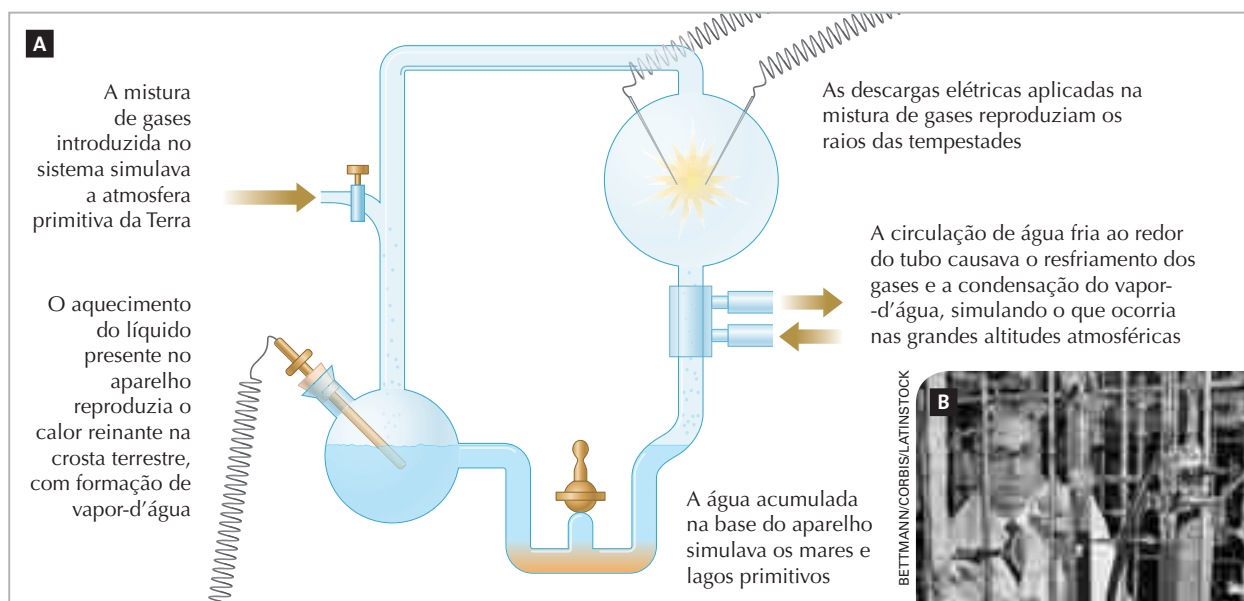


Figura 2.9 A. Representação esquemática do simulador utilizado por S. L. Miller em seu experimento sobre a origem da vida. (Imagem sem escala, cores-fantasia.) **B.** Fotografia de S. L. Miller ao lado do aparelho, em 1953.

Miller deixou o simulador funcionando durante uma semana e, então, examinou o líquido acumulado em sua parte inferior. Testes químicos revelaram substâncias ausentes no início do experimento, com destaque para diversos tipos de aminoácidos, ácidos graxos simples e ureia, entre outras substâncias. Na fase gasosa foram detectados monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) e gás nitrogênio (N₂).

O experimento de Miller ficou famoso por ter sido o primeiro a demonstrar a possibilidade da síntese de aminoácidos, componentes fundamentais das proteínas, nas condições abióticas supostamente existentes na Terra primitiva. Atualmente se sabe, porém, que planetas rochosos como a Terra nunca tiveram atmosferas fortemente redutoras (por serem ricas em hidrogênio), como era a mistura de gases utilizada no experimento. Dados recentes sugerem que a atmosfera terrestre, entre 4 e 3,5 bilhões de anos atrás, era neutra, constituída por dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), monóxido de carbono (CO) e gás nitrogênio (N₂). Os cientistas admitem que, nessas condições, seria quase impossível a formação de aminoácidos, cuja síntese demanda condições fortemente redutoras.

O experimento de Miller é aplicável aos planetas gasosos, onde o ambiente era, e ainda é, fortemente redutor e, portanto, propício à síntese abiótica de aminoácidos. Em 1969, caíram meteoritos na Austrália nos quais havia aminoácidos semelhantes aos produzidos no experimento de Miller.

Estudos têm mostrado que substâncias orgânicas são relativamente comuns no espaço sideral. Os astrônomos já encontraram evidências de substâncias orgânicas em diferentes lugares, como nuvens de gases interestelares, grãos de poeira cósmica e asteroides. Foram detectadas substâncias orgânicas nos famosos cometas Halley e Hale-Bopp, na nebulosa de Órion e em meteoritos caídos na Terra.

Praticamente todas as substâncias químicas fundamentais dos seres vivos já foram detectadas em corpos celestes ou produzidas em laboratório, em condições simuladas. Portanto, os ingredientes básicos para a formação de vida poderiam estar disponíveis desde os primórdios da existência da Terra. Diante disso, a questão mais relevante passa a ser: como esses ingredientes se reuniram para criar complexos moleculares isolados, com capacidade de reprodução e de metabolismo? Em outras palavras, como esses ingredientes deram origem a seres vivos?

6 O “mundo do RNA”

O passo crucial na origem dos seres vivos foi adquirir a capacidade de **reprodução**, ou seja, de originar seres com características semelhantes que perpetuam a linhagem. Na reprodução biológica como a conhecemos hoje, instruções para o funcionamento das células (informações genéticas) são transmitidas à descendência. Na quase totalidade dos seres vivos atuais, as informações genéticas estão escritas, em um código químico, nas moléculas filamentosas de DNA.

Há algumas décadas, surgiu a hipótese de que outra substância dos seres vivos, o RNA, pode ter sido o material genético primordial. Sabe-se que, em alguns vírus, o RNA tem capacidade de se multiplicar. Testes laboratoriais deram sustentação a essa hipótese ao mostrar que moléculas de RNA podem ser produzidas em condições abióticas. Na década de 1980, Thomas R. Cech (n. 1947), bioquímico estadunidense laureado com um Prêmio Nobel, e seus colaboradores descobriram que diversos tipos de reações importantes, como a união dos aminoácidos na produção das proteínas, por exemplo, são diretamente controlados por moléculas de RNA denominadas ribozimas.

Qual a importância da descoberta das ribozimas para as pesquisas sobre origem da vida? Alguns cientistas acreditam que a capacidade do RNA de se duplicar e controlar reações químicas vitais sugere sua presença desde o início da vida na Terra. Muitos chegam a falar em um “mundo do RNA”, para se referir ao hipotético período que teria precedido o aparecimento da vida na Terra. A seleção natural, ou, em outras palavras, a “sobrevivência dos mais capazes”, teria começado a atuar nessa etapa da história da vida. Ao se multiplicar, as moléculas de RNA deviam produzir versões ligeiramente diferentes entre si; algumas delas tinham maior capacidade de se perpetuar e de se reproduzir, transmitindo essas capacidades à descendência. Acredita-se que esse foi o primeiro passo em direção ao desenvolvimento de um “sistema genético”, que pode ter surgido antes mesmo do aparecimento de sistemas isolados por membranas.

Atualmente, os cientistas tentam explicar um passo seguinte na trajetória da vida: a passagem do “mundo do RNA” para um “mundo de DNA e proteínas”, como é o dos seres vivos atuais.

Nos seres vivos atuais, os processos químicos que caracterizam a vida ocorrem sempre no interior de células, compartimentos isolados do ambiente externo por uma finíssima membrana. Essa membrana garante um ambiente adequado aos processos e reações químicas essenciais à vida. Ela é tão importante que, se é rompida, a estrutura celular se desorganiza rapidamente e a célula morre. Por isso, o aparecimento de sistemas químicos delimitados por uma membrana que os separava do meio foi, de acordo com os cientistas, uma etapa fundamental para a origem da vida na Terra.

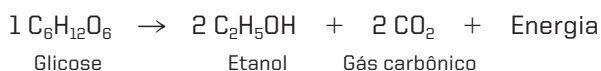
Embora ainda não tenhamos um “retrato” exato dos seres vivos mais antigos, acredita-se que eles eram de tamanho microscópico e delimitados por algum tipo de membrana. Em seu interior, reações químicas ordenadas e controladas pelas informações genéticas transformavam moléculas de alimento em componentes do próprio corpo desses seres, o que permitia seu crescimento e reprodução.

De que se alimentavam os primeiros seres vivos? Essa é outra questão que divide a opinião dos cientistas. Os seres atuais têm duas estratégias principais para obter alimento: a) eles mesmos o produzem; b) têm de obtê-lo de fora. No primeiro caso, fala-se em seres **autotróficos** (do grego *autós*, próprio, e *trophos*, alimento), capazes de produzir seu próprio alimento a partir de substâncias inorgânicas e de energia obtidas do ambiente. No segundo caso, fala-se em seres **heterotróficos** (do grego *hetero*, diferente); incapazes de produzir seu próprio alimento, eles têm de obtê-lo do meio externo na forma de moléculas orgânicas. São autotróficos alguns tipos de bactérias, todas as algas e todas as plantas atuais; são heterotróficos os fungos, certas bactérias, todos os protozoários e todos os animais.

Hipótese heterotrófica

Há algumas décadas, a hipótese mais aceita sobre o modo de nutrição dos primeiros seres vivos era a **hipótese heterotrófica**. De acordo com essa hipótese, a fonte de alimento dos primeiros seres seria constituída de moléculas orgânicas produzidas de modo abiogênico e acumuladas nos mares e lagos primitivos. O principal argumento em favor dessa ideia é que os primeiros seres vivos, por serem muito simples, ainda não teriam desenvolvido a capacidade de produzir substâncias alimentares e seriam, portanto, heterotróficos, alimentando-se de substâncias orgânicas disponíveis no meio.

Esses primitivos seres heterotróficos deviam extrair energia das moléculas nutritivas por meio de processos bioquímicos relativamente simples como a **fermentação**, por exemplo, realizada atualmente por certas bactérias e fungos. Na fermentação, moléculas orgânicas são quebradas e originam compostos orgânicos mais simples, liberando energia, utilizada para suprir os gastos do metabolismo. Um dos tipos de fermentação bem conhecido é a fermentação alcoólica da glicose, em que esse açúcar é transformado em álcool etílico (etanol) e gás carbônico, segundo a equação:

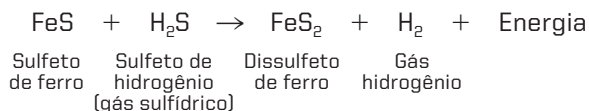


Os defensores da hipótese heterotrófica admitem que, com o passar do tempo, a fonte de alimento diminuiria, principalmente devido ao aumento de consumo pela população crescente de seres heterotróficos. Supõe-se que, nessa época, algumas linhagens daqueles seres pioneiros já teriam evoluído a ponto de captar energia luminosa do Sol e empregá-la para produzir moléculas orgânicas, utilizadas como alimento. Essas linhagens originariam os seres autotróficos fotossintetizantes.

Hipótese autotrófica

Atualmente, a hipótese mais aceita sobre o modo de nutrição dos primeiros seres vivos é a **hipótese autotrófica**. Seus defensores argumentam que na Terra primitiva não haveria moléculas orgânicas em quantidade suficiente para sustentar a multiplicação dos primeiros seres vivos até o surgimento da fotossíntese. Os primeiros seres vivos, de acordo com essa hipótese, seriam quimiolitóautotróficos (do grego *litós*, rocha), isto é, produziram suas próprias substâncias alimentares pelo aproveitamento da energia liberada por reações químicas entre componentes inorgânicos da crosta terrestre. Uma possibilidade é que eles utilizassem

compostos de ferro e de enxofre (por exemplo, FeS e H_2S), supostamente abundantes na Terra primitiva. Essa ideia tem se consolidado devido à descoberta de microrganismos chamados arqueas, alguns dos quais vivem em ambientes inóspitos como fontes de água quente e vulcões submarinos, onde há liberação contínua de gás sulfídrico (H_2S). Algumas arqueas obtêm energia a partir de reações químicas como a mostrada a seguir:

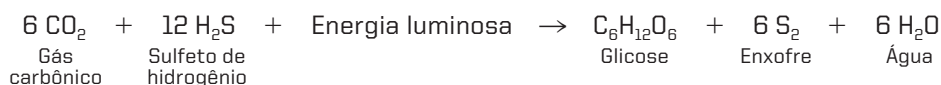


Segundo a hipótese autotrófica, a partir dos primeiros seres quimiolitotróficos teriam surgido os outros tipos de seres vivos, primeiro os que realizam fermentação, depois os fotossintetizantes e, por fim, os que respiram gás oxigênio (aeróbios).

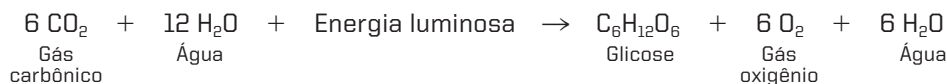
Origem da fotossíntese

Um passo importante na história da vida na Terra foi o aparecimento da **fotossíntese**. Esse processo, atualmente realizado por algas, plantas e certas bactérias, consiste na produção de substâncias energéticas alimentares (geralmente glicídios) a partir de substâncias inorgânicas simples como água (H_2O) e gás carbônico (CO_2), utilizando luz como fonte de energia. Além de produzir glicídios, a maioria dos seres autotróficos atuais também produz gás oxigênio (O_2), liberado para o ambiente.

Acredita-se que, no início, os reagentes para a fotossíntese eram gás carbônico (CO_2) e sulfeto de hidrogênio (H_2S). Ainda hoje, algumas espécies de bactéria, as sulfobactérias, realizam fotossíntese utilizando esses dois ingredientes, como se pode ver na equação a seguir:



As primeiras bactérias fotossintetizantes capazes de utilizar água (H_2O) em lugar de gás sulfídrico (H_2S) teriam surgido há pouco menos de 3 bilhões de anos; a abundância de água na Terra permitiu que essas bactérias se espalhassem por todo o planeta. As bactérias fotossintetizantes pioneiras teriam sido ancestrais das cianobactérias atuais, que realizam o processo de fotossíntese mostrado na seguinte equação geral:



A capacidade de utilizar substâncias simples e energia da luz solar permitiu que as bactérias fotossintetizantes primitivas invadissem os mares e todos os ambientes úmidos do planeta. A proliferação foi tanta que o gás oxigênio liberado por essas bactérias teria alterado significativamente a composição da atmosfera terrestre. A partir de 2,5 bilhões de anos atrás, a concentração de gás oxigênio, praticamente inexistente até então, aumentou progressivamente até atingir a porcentagem atual, em torno de 21%. (Fig. 2.10)

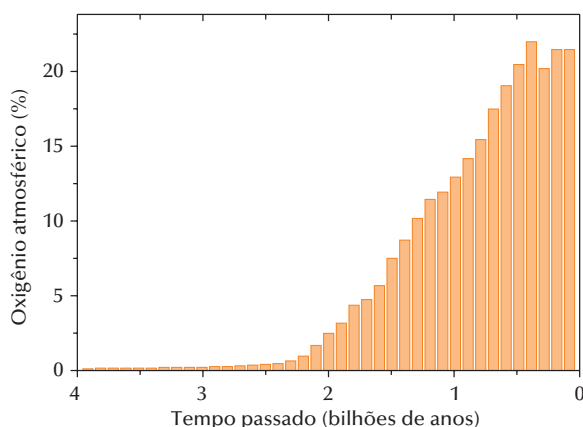
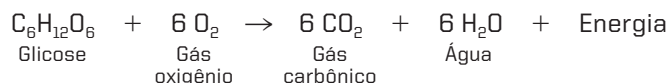


Figura 2.10 Gráfico que mostra a variação da porcentagem de gás oxigênio (O_2) na atmosfera da Terra desde sua formação. No início, a atmosfera terrestre tinha pouco O_2 , que era produzido principalmente pela decomposição de moléculas de água sob ação da radiação ultravioleta do Sol. A quantidade de O_2 atmosférico aumentou exponencialmente devido ao aparecimento de seres fotossintetizantes.

Fonte: Vieyra e Souza-Barros, em *O que é vida?* de El-Hani e Videira (Orgs.), 2000.

Origem da respiração aeróbia

A vida, que traz em sua essência a capacidade de se adaptar e se perpetuar, encontrou uma saída para o aumento do gás oxigênio na atmosfera. Os seres ancestrais das cianobactérias, além de desenvolverem sistemas químicos antioxidantes, passaram a aproveitar o poder oxidante do gás oxigênio para quebrar as moléculas orgânicas dos alimentos que elas mesmas produziam pela fotossíntese. A oxidação controlada das substâncias orgânicas utilizadas como alimento garantiria alta eficiência na obtenção de energia; surgia, assim, a **respiração aeróbia**, processo de obtenção de energia cuja equação simplificada é:



Note que a equação da respiração aeróbia é praticamente inversa à da fotossíntese. Assim, há cerca de 2 bilhões de anos, começou a se estabelecer, na Terra, um equilíbrio dinâmico entre fotossíntese e respiração aeróbia, que perdura até hoje. Na fotossíntese, gás carbônico e água são utilizados como reagentes e originam, como produtos, moléculas orgânicas e gás oxigênio (O_2); na respiração aeróbia, moléculas orgânicas reagem com moléculas de gás oxigênio (O_2) e originam, como produtos, água (H_2O) e gás carbônico (CO_2). (Fig. 2.11)

Uma consequência da presença de gás oxigênio na atmosfera terrestre foi a formação de uma camada de gás ozônio (O_3) na estratosfera, entre 12 e 50 quilômetros de altitude. O ozônio origina-se do gás oxigênio (O_2) e bloqueia a passagem da maior parte da radiação ultravioleta proveniente do Sol, que teria efeito letal sobre os seres vivos. Antes do surgimento da camada de ozônio, a vida estava restrita aos ambientes protegidos de lagos e mares. Foi a filtração de radiação ultravioleta pela camada de ozônio atmosférica que deu aos seres vivos a possibilidade de colonizar ambientes de terra firme, expostos à luz solar.

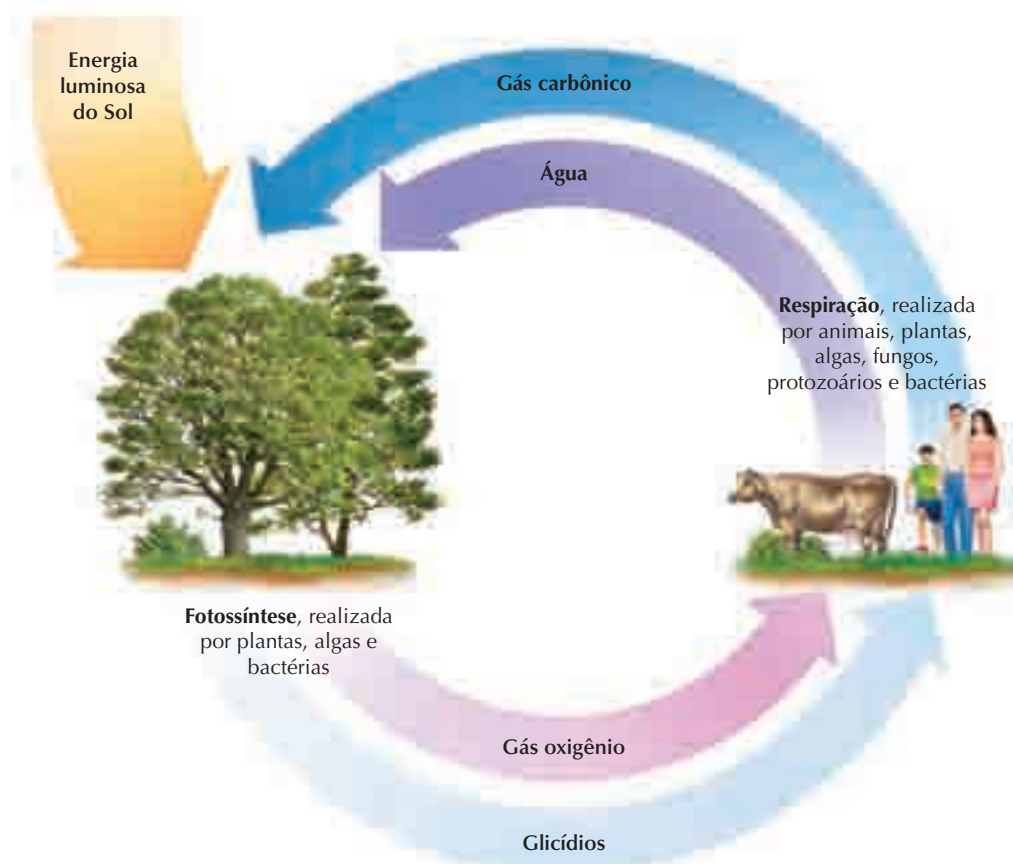


Figura 2.11 Representação esquemática do equilíbrio dinâmico entre a fotossíntese e a respiração aeróbia. Na fotossíntese, os reagentes gás carbônico (CO_2) e água (H_2O) originam glicídios e gás oxigênio (O_2) como produtos. Na respiração aeróbia, ocorre o inverso: os reagentes são gás oxigênio (O_2) e substâncias orgânicas e os produtos são gás carbônico (CO_2) e água (H_2O). [Imagem sem escala, cores-fantasia.]

OSVALDO SANCHES SEQUETIN

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

» Habilidades sugeridas

► Reconhecer a importância, na história da vida na Terra, do aparecimento da célula eucariótica e da multicelularidade.

► Conhecer a ideia central da hipótese endossimbiótica (ou hipótese simbiogênica) para a origem da célula eucariótica.

» Conceitos principais

- célula eucariótica
- hipótese endossimbiótica
- organismo multicelular

1 Origem da célula eucariótica

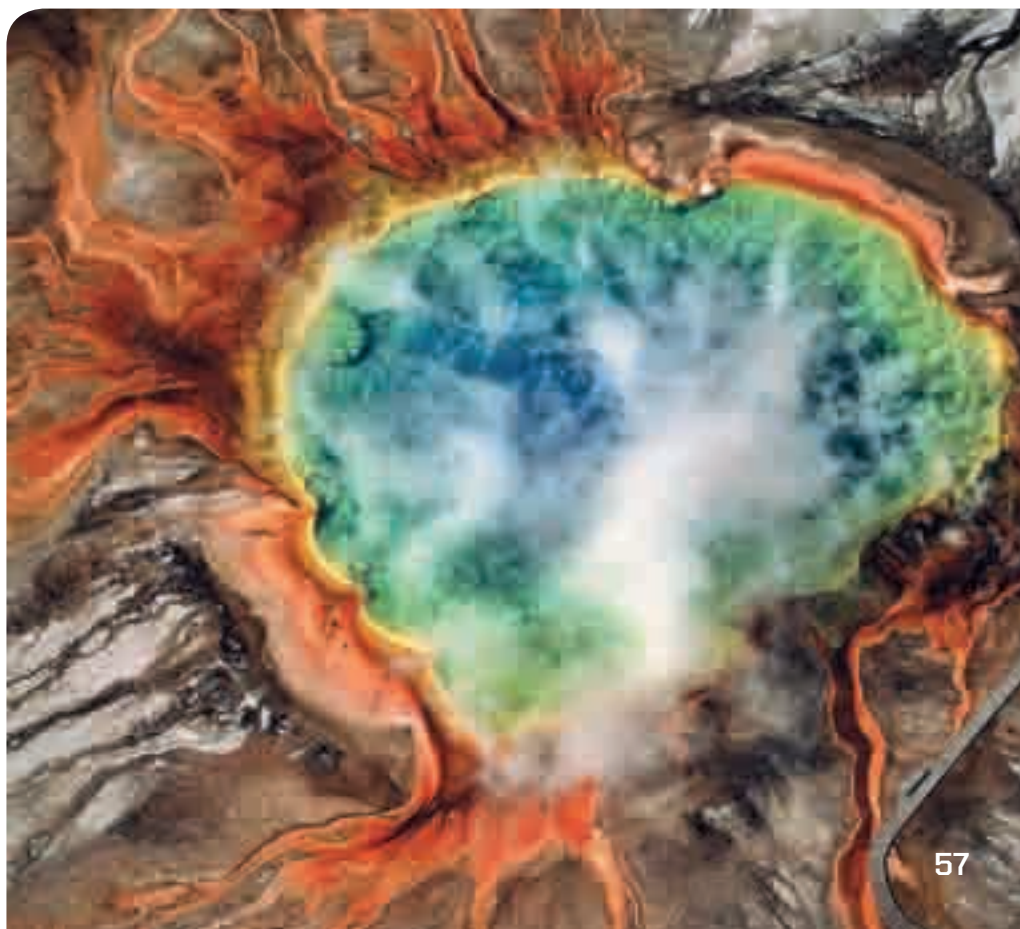
Os primeiros seres vivos deviam ser muito simples, constituídos por uma única célula; esta era, talvez, ainda mais simples que a célula de seres unicelulares microscópicos recentemente descobertos, as **arqueas**. A maioria das arqueas vive em ambientes extremos, como fontes de águas quentes, lagos salgados e pântanos. A simplicidade das arqueas e os ambientes onde elas vivem levam os cientistas a conjecturar se elas não seriam parecidas com as primeiras formas de vida, originadas em ambientes semelhantes possivelmente existentes na Terra primitiva. (Fig. 2.12)

Por volta de 2 bilhões de anos atrás, ocorreu uma grande inovação na estrutura dos seres vivos: surgiu a **célula eucariótica**, mais complexa que a célula procariótica, atualmente presente apenas em bactérias e arqueas. Todos os outros seres vivos têm células eucarióticas; nestas, o citoplasma é um labirinto de túbulos e bolsas membranosas e o material hereditário fica contido em uma bolsa especial, o núcleo. O citoplasma da célula eucariótica possui também um sistema de sustentação esquelética, constituído por tubos e filamentos de proteínas, o citoesqueleto.

Acredita-se que os compartimentos membranosos das células eucarióticas surgiram por invaginações da membrana plasmática em um ancestral procariótico. A possível vantagem é que a presença de dobras na membrana aumentaria a superfície de contato da célula com o ambiente, facilitando a troca de substâncias (entrada de nutrientes e saída de excreções). Com o tempo, os compartimentos membranosos teriam se diferenciado e passado a desempenhar funções específicas, aumentando a eficiência do funcionamento celular.

Figura 2.12 Vista aérea de um lago de águas quentes do Parque Nacional de Yellowstone, nos Estados Unidos. Note a passarela para visitantes, abaixo à direita, para ter ideia da escala. As cores verde, amarela e marrom, junto à borda do lago, são produzidas pela enorme quantidade de seres microscópicos procarióticos (arqueas termófilas) presentes na água.

BERNHARD EDMA/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK



Hipótese endossimbiótica ou simbiogênica

O citoplasma das células eucarióticas atuais tem, dentre outras organelas, mitocôndrias e plastos, estruturas especializadas em realizar processos de obtenção e de transformação de energia. Mitocôndrias estão presentes em praticamente todas as células eucarióticas e nelas ocorre a respiração celular. Plastos estão presentes em células de algas e plantas e neles ocorre a fotossíntese.

Os cientistas acreditam que tanto mitocôndrias como plastos originaram-se de bactérias primitivas que, em um passado distante, associaram-se às primitivas células eucarióticas. Essa é a ideia central da **hipótese endossimbiótica**, ou **hipótese simbiogênica**. O termo simbiose, que compõe ambas as denominações, significa “viver juntos”. (Fig. 2.13)

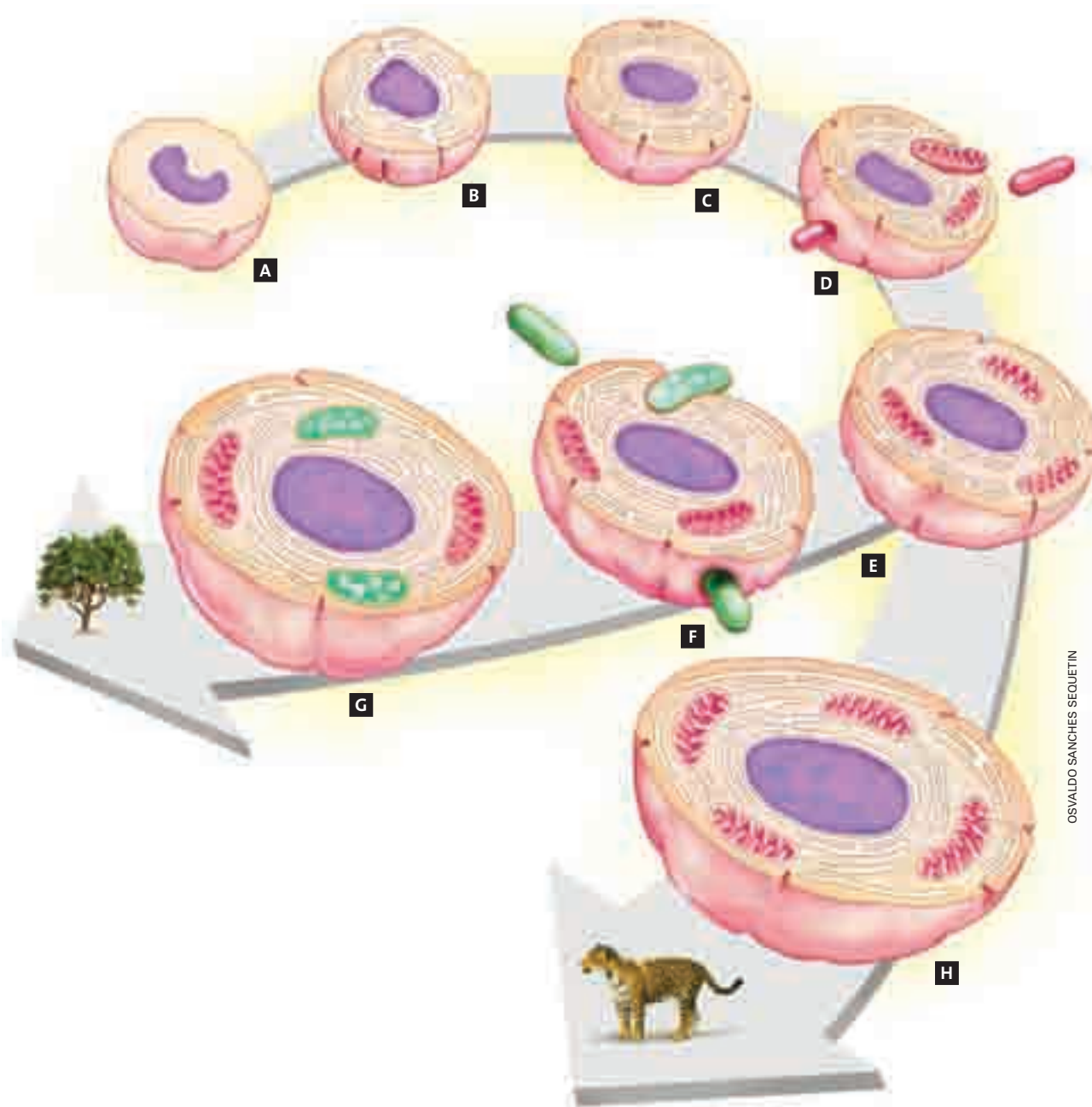


Figura 2.13 Representação esquemática dos processos que deram origem à célula eucariótica segundo a hipótese endossimbiótica (ou simbiogênica). De A a C, formação de compartimentos membranosos internos por invaginação da membrana plasmática. Em D e E, origem das mitocôndrias por endossimbiose. Em F e G, origem dos plastos por endossimbiose. A célula representada em G seria a ancestral de todas as algas e plantas, enquanto a representada em H teria dado origem aos protozoários, aos fungos e aos animais. [Imagens sem escala, cores-fantasia.]

Segundo essa hipótese, as primeiras células eucarióticas adquiriram capacidade de respirar gás oxigênio quando passaram a abrigar, em seu citoplasma, células procarióticas respiradoras. Estabeleceu-se, então, uma troca de benefícios entre esses seres: a célula eucariótica garantia abrigo e alimento à célula procariótica e esta lhe fornecia energia, obtida por meio da respiração aeróbica. De acordo com os cientistas, a associação foi tão bem-sucedida que se tornou permanente e os primitivos “inquilinos” procarióticos se transformaram em mitocôndrias, organelas essenciais à sobrevivência da célula eucariótica.

De acordo com a hipótese endossimbiótica, a história dos plastos é muito semelhante à das mitocôndrias. Os plastos teriam surgido pela associação entre primitivas células eucarióticas (então já associadas às ancestrais das mitocôndrias) e bactérias fotossintetizantes. Portanto, as células de algas e de plantas atuais seriam o resultado de uma tripla associação de seres primitivos.

Diversas evidências dão sustentação à hipótese da origem endossimbiótica da célula; por exemplo, as mitocôndrias e os plastos têm DNA próprio, sintetizam algumas de suas próprias proteínas e são capazes de se autoduplicar. Acredita-se que os ancestrais diretos das mitocôndrias foram organismos procarióticos de um grupo conhecido como bactérias púrpuras, que se instalaram nas primitivas células eucarióticas provavelmente entre 2 bilhões e 1,9 bilhão de anos atrás. Os ancestrais dos plastos, por sua vez, seriam bactérias fotossintetizantes e se instalaram nas células eucarióticas hospedeiras pouco tempo depois.

A associação bem-sucedida entre células eucarióticas primitivas e células procarióticas determinou os novos rumos que a vida seguiu na Terra. Células eucarióticas portadoras apenas de mitocôndrias originaram protozoários, fungos e animais. As algas e as plantas atuais, por sua vez, evoluíram a partir das células eucarióticas portadoras tanto de mitocôndrias quanto de plastos. (Fig. 2.14)

Os cientistas acreditam que vários outros eventos endossimbióticos podem ter ocorrido na formação de certas espécies de seres atuais. Muitas espécies de algas, por exemplo, têm cloroplastos constituídos por três ou até por quatro membranas. Supõe-se que esses cloroplastos tenham surgido a partir de múltiplos eventos de endossimbiose, em que uma alga englobada por outra originou seu cloroplasto.

Alguns defensores da teoria da endossimbiose acreditam, também, que o complexo sistema de microtúbulos presente em células eucarióticas, responsável por sua sustentação esquelética e movimentação, originou-se de bactérias englobadas por uma célula eucariótica ancestral. Alguns chegam mesmo a pensar que até o núcleo celular teria surgido por endossimbiose.

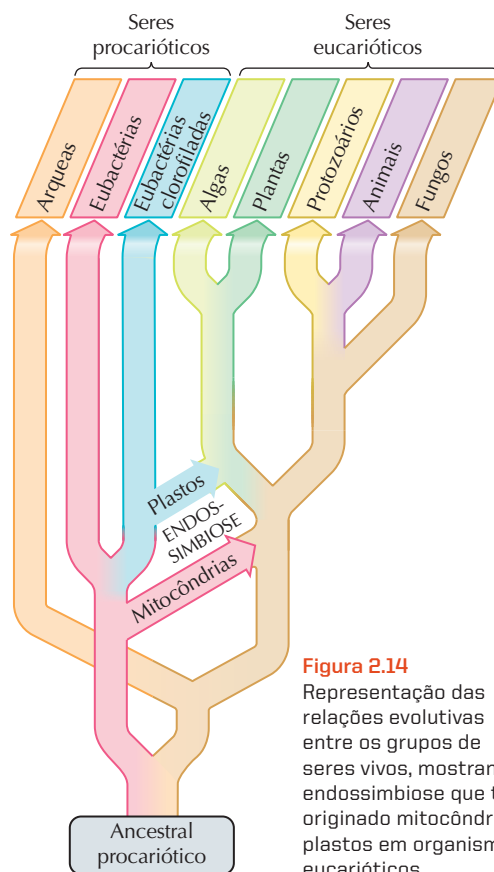


Figura 2.14
Representação das relações evolutivas entre os grupos de seres vivos, mostrando a endossimbiose que teria originado mitocôndrias e plastos em organismos eucarióticos.

3 Origem da multicelularidade

Um passo importante na história da vida foi o aparecimento dos seres eucarióticos **multicelulares**, isto é, constituídos por muitas células. Na estratégia multicelular, células resultantes da multiplicação de uma célula inicial, o zigoto, passam a viver juntas e a dividir as tarefas de sobrevivência, constituindo tecidos e órgãos.

Fósseis de seres multicelulares – algas filamentosas e animais invertebrados semelhantes a águas-vivas e vermes – aparecem pela primeira vez em rochas com cerca de 1 bilhão de anos de idade. Estudaremos mais detalhadamente a origem e evolução dos grandes grupos de seres vivos no volume 3 desta coleção.

QUESTÕES PARA PENSAR E DISCUTIR

Questões objetivas

Considere as alternativas a seguir para responder às questões de 1 a 3.

- a) Biogênese. d) Pasteurização.
- b) Força vital. e) Reprodução.
- c) Geração espontânea.

1. Qual é o nome do processo em que bebidas ou alimentos são aquecidos à temperatura adequada e por tempo suficiente para destruir os microrganismos patogênicos neles presentes, sem alterar o sabor e outras propriedades?
2. Qual é a teoria segundo a qual um ser vivo somente se origina a partir de organismos semelhantes?
3. Como se chama a teoria segundo a qual a vida pode surgir a partir da matéria inanimada?
4. Os cientistas acreditam que a vida na Terra surgiu
 - a) há 10 mil anos.
 - b) há aproximadamente 3,5 milhões de anos.
 - c) há 65 milhões de anos.
 - d) entre 4 bilhões e 5 bilhões de anos atrás.
5. A importância do trabalho de Miller foi ter demonstrado, pela primeira vez, que
 - a) os primeiros seres vivos vieram do espaço.
 - b) a vida surgiu nos mares primitivos.
 - c) moléculas orgânicas poderiam ter se formado nas condições da Terra primitiva.
 - d) os primeiros seres vivos eram heterotróficos.

Considere as alternativas a seguir para responder às questões de 6 a 9.

- a) Autotrófico. d) Heterotrófico.
 - b) Célula. e) Quimiolitoautotrófico.
 - c) Coacervato.
6. Como se denomina o organismo que utiliza energia liberada por reações químicas entre componentes inorgânicos da crosta terrestre para sintetizar seu próprio alimento?
 7. Como se denomina o organismo que precisa obter substâncias orgânicas do ambiente para usá-las como fonte de energia e de matéria-prima para se manter vivo?
 8. Qual é a denominação dada a um organismo capaz de sintetizar seu próprio alimento a partir de substâncias inorgânicas e de energia obtidas do ambiente?
 9. Qual é o nome da unidade dos seres vivos que é um compartimento membranoso no interior do qual acontecem as reações químicas essenciais à vida?

Questões discursivas

10. Alimentos preparados de forma adequada e guardados em frascos hermeticamente fechados conservam-se inalterados por muito tempo. Um exemplo é o leite “longa vida”, que se conserva

fora da geladeira por vários meses. Na embalagem de algumas marcas de leite longa vida, podem ser lidos os seguintes avisos: “Após a abertura da embalagem, deve ser conservado sob refrigeração”; “Tratado pelo processo U.H.T. (ultrahigh temperature) à temperatura de 150 °C por 2 a 4 segundos, tornando-se estéril”.

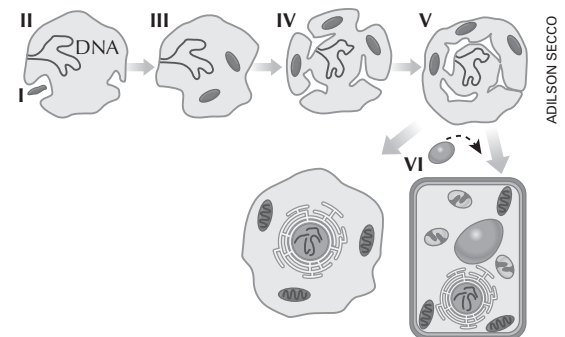
Com base no que aprendeu no capítulo, em conhecimentos que já possui e em pesquisas que poderá fazer, responda:

- a) O que significa dizer que o processo U.H.T. torna o leite estéril?
 - b) Qual é a razão da recomendação do fabricante para conservar o leite longa vida sob refrigeração depois de aberta a embalagem?
11. Que hipótese Miller testou em seu experimento? Que dedução ele fez a partir dessa hipótese?

VESTIBULARES PELO BRASIL

Questões objetivas

1. (Cesgranrio-RJ) Em 1995 — cem anos da morte de Pasteur —, o prédio do antigo correio, no Rio de Janeiro, abrigou uma exposição comemorativa: Vida. Estava lá representada a conhecida experiência dos frascos com pescoço de cisne, contendo líquidos nutritivos que, após fervura, não apresentavam microrganismos. Com essa experiência, Pasteur conseguiu
 - a) incentivar a geração espontânea.
 - b) incentivar a teoria do fixismo.
 - c) derrubar a hipótese heterotrófica.
 - d) derrubar a abiogênese.
 - e) destruir a lei do uso e desuso.
2. (Unifal-MG) Observe o esquema abaixo, que representa algumas das etapas da hipótese de que as células eucarióticas surgiram, em parte, como resultado evolutivo de um processo gradual de endossimbiose:

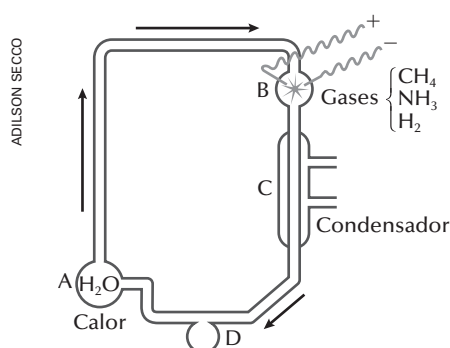


Utilizando o esquema como base, determine a afirmativa incorreta.

- a) A endossimbiose de um procariota fotossintético VI com um proeucariota originou as células eucarióticas heterotróficas atuais.
- b) As invaginações da membrana plasmática aumentaram a superfície de contato e a capacidade de transporte em procarióticos IV.

- c) Uma célula procariótica aeróbia I associou-se a uma procariótica heterotrófica anaeróbia II, aumentando o potencial energético.
- d) Como resultado das invaginações, um envelope nuclear precursor formou-se em uma célula proeucariótica V.
- e) Uma célula procariótica III teve a sua capacidade aeróbia aumentada, em virtude da compartimentalização das membranas nas mitocôndrias.
3. (Fuvest-SP) Qual das alternativas distingue organismos heterotróficos de organismos autotróficos?
- a) Somente organismos heterotróficos necessitam de substâncias químicas do ambiente.
- b) Somente organismos heterotróficos fazem respiração celular.
- c) Somente organismos heterotróficos possuem mitocôndrias.
- d) Somente organismos autotróficos podem viver com nutrientes inteiramente inorgânicos.
- e) Somente organismos autotróficos não requerem gás oxigênio.
4. (Unifal-MG) Do início da vida na Terra até o aparecimento dos seres vivos atuais, aconteceram vários eventos, como, por exemplo:
- I. formação das primeiras células;
- II. formação de moléculas orgânicas complexas;
- III. aparecimento de organismos capazes de produzir alimentos pela fotossíntese.
- IV. surgimento dos primeiros organismos aeróbios.
- Determine a alternativa que indica a ordem mais aceita atualmente, para o acontecimento desses eventos.
- a) I; II; IV; III.
- b) II; III; IV; I.
- c) I; IV; III; II.
- d) II; I; III; IV.

5. (UFRGS-RS-Adaptado) O desenho a seguir representa, de forma esquemática, o aparelho que Miller usou em suas experiências, em 1953, para testar a produção de aminoácidos a partir de uma mistura de metano, hidrogênio, amônia e água, submetida a descargas elétricas.



A seguir são feitas quatro afirmações:

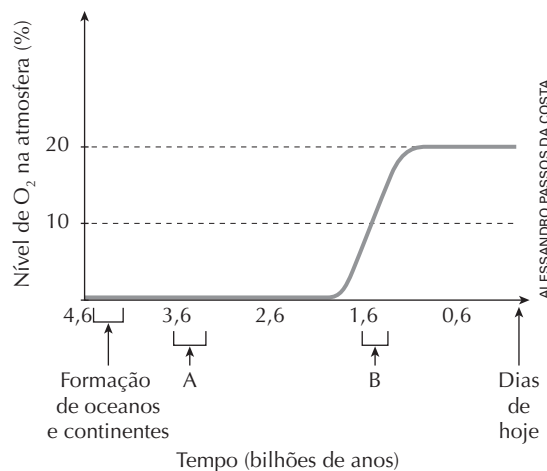
- I. Com esta experiência, Miller demonstrou que havia produção de aminoácidos em condições semelhantes às que havia na atmosfera primitiva da Terra.
- II. Como a circulação do material por dentro do aparelho está completamente isolada do meio externo, não houve possibilidade alguma de contaminação com outras substâncias.
- III. As substâncias resultantes das reações químicas acumularam-se em C e em D.
- IV. Com esta experiência, Miller também descobriu a composição química da atmosfera primitiva da Terra.

Quais das afirmações anteriores são corretas?

- a) I e II.
- b) II e IV.
- c) III e IV.
- d) I e III.
- e) II e III.
6. (PUC-RS) A chamada "estrutura procariótica" apresentada pelas bactérias nos indica que estes seres vivos são
- a) destituídos de membrana plasmática.
- b) formadores de minúsculos esporos.
- c) dotados de organelas membranosas.
- d) constituídos por parasitas obrigatórios.
- e) desprovidos de membrana nuclear.

❏ Questão discursiva

7. (Unicamp-SP) Analise o gráfico abaixo, no qual é mostrada a variação do nível de oxigênio na atmosfera terrestre em função do tempo em bilhões de anos.



- a) Em que período (A ou B) devem ter surgido os primeiros organismos eucariotos capazes de fazer respiração aeróbia? E os primeiros organismos fotossintetizantes? Justifique as duas respostas.
- b) Qual organela celular foi imprescindível para o aparecimento dos organismos eucariotos aeróbios? E para os organismos eucariotos fotossintetizantes?
- c) Explique a teoria cientificamente mais aceita sobre a origem dessas organelas. Dê uma característica comum a essas organelas que apoie a teoria.

Capítulo

3

Bases moleculares da vida

A aplicação à Biologia dos conhecimentos advindos da Química permitiu reconhecer que a organização e a fisiologia dos seres vivos são determinadas pelos átomos e moléculas que os constituem. Neste capítulo apresentamos a constituição molecular das principais substâncias que compõem os seres vivos.

3.1 A Química e a vida

A compreensão do mundo dos átomos e das moléculas dos seres vivos tem sido de fundamental importância para o avanço da Biologia e melhoria da qualidade da vida humana.

3.2 A água e os sais minerais nos seres vivos

A água, indispensável à vida, é a substância mais abundante em qualquer ser vivo. Ela é o solvente de todas as soluções biológicas e participa de diversas reações bioquímicas.

3.3 Glicídios

Os glicídios constituem a principal fonte de energia para os seres vivos e estão presentes em diversos tipos de alimento.

3.4 Lipídios

Os lipídios, além de serem fonte de energia, são constituintes fundamentais das células.

3.5 Proteínas

Proteínas são fundamentais na estrutura dos seres vivos. Quanto à função, um grupo de proteínas — as enzimas — participa de praticamente todas as reações químicas vitais, controlando assim o metabolismo.

3.6 Vitaminas

Vitaminas são substâncias essenciais ao funcionamento do organismo. As fontes naturais das vitaminas são os alimentos.

3.7 Ácidos nucleicos

Os ácidos nucleicos constituem os genes, responsáveis pela herança biológica.

Água virtual, gasto real

Muita água é utilizada em processos de produção, seja deste livro, dos alimentos que comemos ou de um computador. A quantidade de água gasta para produzir algo é sua água virtual.



2.520 L *

Cheeseburger

A carne utilizada em um hambúrguer — cerca de 150 gramas — requer aproximadamente 2.400 litros de água para ser produzida. Durante a vida, um boi consome cerca de 24 mil litros de água e 8,5 toneladas de pasto e grãos, cujo cultivo requer nada menos que 3 milhões de litros de água. O pão do sanduíche contém mais de 80 litros de água virtual e uma fatia de 10 gramas de queijo precisa de 50 litros de água para sua produção.



ALIMENTOS INDUSTRIALIZADOS UTILIZAM MUITA ÁGUA EM SUA PRODUÇÃO.



200 L *

Refrigerante (350 mL)

A maior parte da água virtual de um refrigerante é gasta no processo de produção do açúcar.



185 L *

Pacote de batata chips (200 g)

Uma porção de batatas fritas industrializadas contém o triplo da água virtual que a mesma quantidade de batatas cozidas.

PRO
* MO *
ÇÃO

770,35 L

UMA REFEIÇÃO SAUDÁVEL
AJUDA A ECONOMIZAR
OS RECURSOS HÍDRICOS
DO PLANETA.



83 L *

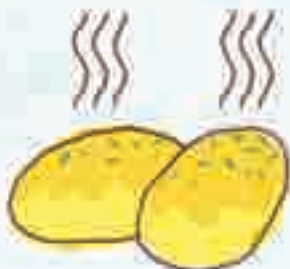
Salada mista (160 g)

O mesmo volume de água utilizado na produção da carne de um hambúrguer seria suficiente para produzir quase 30 saladas como essa.

585 L *

Filé de frango (150 g)

Aves convertem ração em proteína de forma bem mais eficiente que os bovinos. Mesmo assim, a produção de 1 quilograma de frango "custa" 3.900 litros de água virtual.



52 L *

Batata cozida (200 g)

Um quilograma de batatas consome cerca de 250 litros de água para sua produção, fora a água gasta no cozimento.



50 L *

Laranja (unidade)

O suco de laranja industrializado contém mais água virtual do que um suco de laranja natural.



0,36 L *

Copo de água natural (350 mL)

Se um copo de água fosse envasado industrialmente, ele passaria a conter 1 litro de água virtual.

Calça e camiseta: 13.700 litros

Para produzir um quilograma de tecido de algodão utilizado na confecção de roupas são gastos cerca de 11 mil litros de água. Dessa água virtual, aproximadamente 85% vão para o crescimento da planta.



Para pensar

A água potável é um recurso natural cada vez mais escasso. Que atitudes poderíamos adotar para economizar esse bem tão precioso?

A Química e a vida

Habilidades sugeridas

- Reconhecer a existência de uma realidade invisível aos olhos – o nível dos átomos e das moléculas – que pode ser investigado cientificamente e incorporado às nossas visões e explicações de mundo.
- Compreender que os seres vivos são constituídos por átomos de vários elementos químicos, organizados em diversos tipos de substâncias orgânicas, principalmente glicídios, lipídios, proteínas e ácidos nucleicos.

Conceitos principais

- átomo
- substância orgânica
- Bioquímica



GAETAN BALLY/CORBIS/LATINSTOCK

Figura 3.1 Nos laboratórios farmacêuticos modernos, tecnologias sofisticadas permitem a fabricação de substâncias sintéticas utilizadas em medicamentos.

1 O desenvolvimento da Bioquímica

O desenvolvimento da Química nos séculos XIX e XX foi determinante para o desenvolvimento da Biologia atual. Sem a base proporcionada pela Química, seria impossível penetrar no mundo submicroscópico e descobrir como a célula funciona no nível molecular.

Um passo importante para estudar a estrutura e o funcionamento dos seres vivos foi o desenvolvimento da teoria atômica, segundo a qual a matéria é constituída por minúsculas partículas, os **átomos**. De acordo com essa teoria, a enorme variedade de substâncias existentes na natureza, inclusive as que formam os seres vivos, é decorrente das diferentes combinações possíveis entre os átomos dos 89 elementos químicos naturais. Por exemplo, sempre que dois átomos do elemento hidrogênio (H) se combinam com um átomo do elemento oxigênio (O) forma-se uma molécula de água (H_2O). A combinação de dois átomos de hidrogênio com um átomo de enxofre (S), por outro lado, dá origem a um gás malcheiroso, o gás sulfídrico (H_2S).

A aplicação de princípios e métodos da Química no estudo das substâncias orgânicas tem sido proveitosa tanto para os químicos como para os biólogos. Para os primeiros, abriu-se um novo campo de estudo, a **Química Orgânica**, que se ocupa das **substâncias orgânicas**, definidas como aquelas que apresentam carbono (C) e hidrogênio (H) em sua composição. Atualmente, os químicos conseguem “dissecar” em laboratório qualquer substância orgânica, identificando os átomos componentes e a maneira como eles se organizam nas moléculas. É possível, também, produzir em laboratório praticamente todas as substâncias orgânicas conhecidas (proteínas, açúcares, hormônios e gorduras etc.), sem falar na possibilidade de criar substâncias inexistentes na natureza. (Fig. 3.1)

Para os biólogos, o desenvolvimento da Química foi essencial para desvendar a estrutura e o funcionamento das células vivas. O ramo das ciências naturais que estuda a química da vida é atualmente denominado **Bioquímica**. A Bioquímica permitiu a descoberta da existência de milhares de substâncias diferentes em uma única célula e das intrincadas redes de reações químicas das quais elas participam. A variedade de moléculas reunidas no espaço microscópico de uma célula levou os cientistas a concluir que os seres vivos são os entes mais complexos e organizados do universo. E a vida caracteriza-se exatamente pela complexidade e pela organização.

A compreensão do mundo dos átomos e das moléculas dos seres vivos tem sido fundamental para o avanço da Bioquímica, da Biologia, da Medicina e das aplicações tecnológicas dessas ciências, que melhoram a qualidade da vida humana. Isso mostra como a Química é importante.

2 Componentes da matéria viva

Principais elementos químicos dos seres vivos

Na matéria que constitui os seres vivos, predominam certos elementos químicos: **carbono (C)**, **hidrogênio (H)**, **oxigênio (O)**, **nitrogênio (N)**, **fósforo (P)** e **enxofre (S)**. Alguns professores utilizam o acrônimo “CHONPS” para facilitar a memorização desses seis elementos predominantes na matéria viva e que constituem cerca de 98% da massa corporal da maioria das espécies biológicas. Diversos outros elementos químicos, como veremos, também são necessários ao funcionamento dos organismos vivos, mas em proporções bem menores.

O carbono é o constituinte essencial de todas as moléculas orgânicas. É a versatilidade dos átomos de carbono, que podem ligar-se entre si e com átomos de diversos elementos químicos, que torna possível a grande variedade de moléculas orgânicas.

Substâncias químicas dos seres vivos

A **água** é a substância mais abundante em um ser vivo, constituindo cerca de 75% a 85% de sua massa corporal. O restante distribui-se entre **proteínas** (10% a 15%), **lipídios** (2% a 3%), **glicídios** (1%) e **ácidos nucleicos** (1%), além de 1% de **sais minerais** e de outras substâncias. Se desidratássemos hipoteticamente uma pessoa de 60 kg, ela ficaria reduzida a cerca de 12 kg, sendo aproximadamente 8,5 kg de proteínas, 1,8 kg de lipídios, 0,5 kg de açúcares, 0,5 kg de ácidos nucleicos e 0,5 kg de outras substâncias e minerais diversos. (Fig. 3.2)

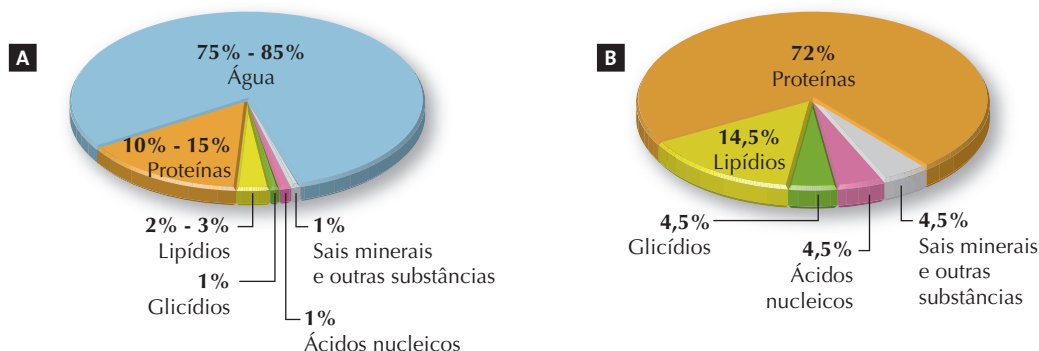


Figura 3.2 Gráficos que representam as porcentagens, em massa, das principais substâncias presentes na matéria viva. Em **A**, os cálculos incluem a água; em **B**, a água não é considerada.

Seção 3.2

A água e os sais minerais nos seres vivos

Habilidades sugeridas

- Reconhecer e compreender os principais aspectos da importância da água para a vida.
- Estar informado sobre os procedimentos que os cidadãos podem adotar para evitar desperdício de água potável e assim preservar esse recurso natural.

Conceitos principais

- ponte de hidrogênio
- solvente
- reação de hidrólise
- sal mineral
- pH (potencial hidrogeniônico)

1 Estrutura molecular da água

A molécula de água, de fórmula química H_2O , é constituída por um átomo de oxigênio (O) unido por meio de ligações covalentes a dois átomos de hidrogênio (H). Estes formam entre si um ângulo de $104,5^\circ$ (cento e quatro graus e meio), o que torna a molécula de água **polarizada** e explica muito de suas propriedades. (Fig. 3.3)

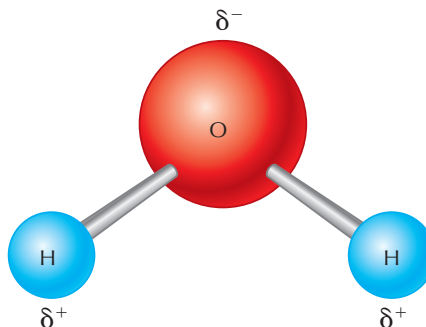
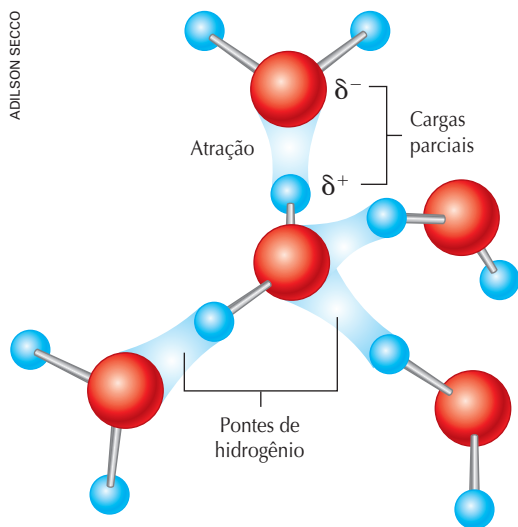


Figura 3.3 A molécula de água é polarizada: o átomo de oxigênio tem carga elétrica parcial negativa, representada por δ^- , e os átomos de hidrogênio têm carga elétrica parcial positiva, simbolizada por δ^+ . [Imagem sem escala, cores-fantasia.]



Os átomos de hidrogênio de uma molécula de água são atraídos pelos átomos de oxigênio das moléculas vizinhas e vice-versa. Com isso, se estabelece entre moléculas de água vizinhas um tipo de ligação química denominado **ponte de hidrogênio**, ou **ligação de hidrogênio**. Na água em estado líquido, as pontes de hidrogênio estão continuamente se rompendo e se refazendo, o que explica a grande fluidez da água líquida. No gelo, devido à baixa temperatura, as moléculas de água movem-se menos e as pontes de hidrogênio são mais estáveis, formando uma estrutura cristalina. (Fig. 3.4)

Figura 3.4 As regiões eletricamente positivas de uma molécula de água atraem a região eletricamente negativa de outras, formando ligações de hidrogênio. (Imagem sem escala, cores-fantasia.)

2 Importância da água para a vida

A água como solvente

Atividades essenciais à vida, como o transporte de substâncias e reações químicas enzimáticas, necessitam que as moléculas participantes estejam dissolvidas em um meio líquido. Nesse aspecto, a água desempenha papel fundamental por ser um excelente **solvente**. Ela é capaz de dissolver grande variedade de substâncias químicas, como sais, gases, açúcares, aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos; por isso, costuma-se atribuir à água o título de “solvente universal”.

O líquido que preenche as células vivas, denominado **citosol**, consiste em uma solução aquosa de diversas substâncias. O sangue e outros líquidos corporais dos seres multicelulares também são soluções aquosas. As principais substâncias dissolvidas nessas soluções biológicas são glicídios, sais, aminoácidos e proteínas, entre outras.

Substâncias cujas moléculas têm afinidade pela água, dissolvendo-se nela, são chamadas de **hidrofílicas** (do grego *hydra*, água, e *philos*, amigo). Exemplos de substâncias orgânicas hidrofílicas são grande parte dos glicídios e muitas proteínas. A solubilidade deve-se ao fato de haver, nas moléculas hidrofílicas, regiões eletricamente carregadas e, por isso, capazes de interagir com as moléculas polarizadas da água. Por outro lado, substâncias que não se dissolvem em água são chamadas de **hidrofóbicas** (do grego *hydra*, água, e *phobos*, medo, aversão). Exemplos de substâncias hidrofóbicas são os óleos e as gorduras. A insolubilidade dessas substâncias ocorre porque suas moléculas não apresentam cargas elétricas, isto é, são apolares; por isso, não conseguem interagir com as moléculas polarizadas da água e ficam agregadas, sem se dissolver.

A água nas reações químicas dos seres vivos

Nos seres vivos ocorre ininterruptamente um número enorme de reações químicas, mediante as quais as células obtêm energia e produzem as substâncias necessárias à sua vida. Em algumas dessas reações, a água participa como reagente; em outras, ela é gerada como produto.

Há determinadas reações químicas em que ocorre união entre moléculas (síntese) e formação de água como produto. Elas são denominadas reações de **condensação**, ou sínteses por desidratação. Por outro lado, há reações de quebra (análise) de moléculas orgânicas em que a água participa como reagente; elas são denominadas **reações de hidrólise** (do grego, *hydra*, água e *lise*, quebra), que significa “quebra pela água”. (Fig. 3.5)

A água como moderador de temperatura

A maioria dos seres vivos só pode viver em uma estreita faixa de temperatura, fora da qual ocorre a morte ou o metabolismo cessa. Nesse aspecto, a água é importante para ajudar a evitar variações bruscas na temperatura dos organismos, pois pode absorver ou ceder grandes quantidades de calor com pequena alteração de temperatura, ou seja, possui alto **calor específico**.

A água apresenta elevado **calor latente de vaporização**, ou seja, absorve grande quantidade de calor para passar do estado líquido ao gasoso. A evaporação da água é um mecanismo importante para os seres vivos, pois, graças a ele, os organismos que vivem em terra firme evitam o superaquecimento. As folhas das plantas, por exemplo, não se aquecem demais durante um dia de sol intenso porque a maior parte do calor que recebem é utilizado para evaporar a água dos tecidos, no processo de transpiração foliar. A evaporação do suor de nossa pele, por sua vez, demanda energia e ajuda a resfriar a superfície do corpo em um dia quente ou quando fazemos atividades físicas que geram calor em excesso.

A água apresenta também elevado **calor latente de fusão**, ou seja, para se solidificar, isto é, tornar-se gelo, precisa liberar muito calor, o que requer exposição a temperaturas inferiores a 0° C por tempo prolongado. Essa propriedade da água protege os organismos vivos dos efeitos danosos do congelamento; se a água de suas células congelasse facilmente, os seres vivos morreriam devido aos cristais formados dentro delas, que causariam danos às membranas celulares.

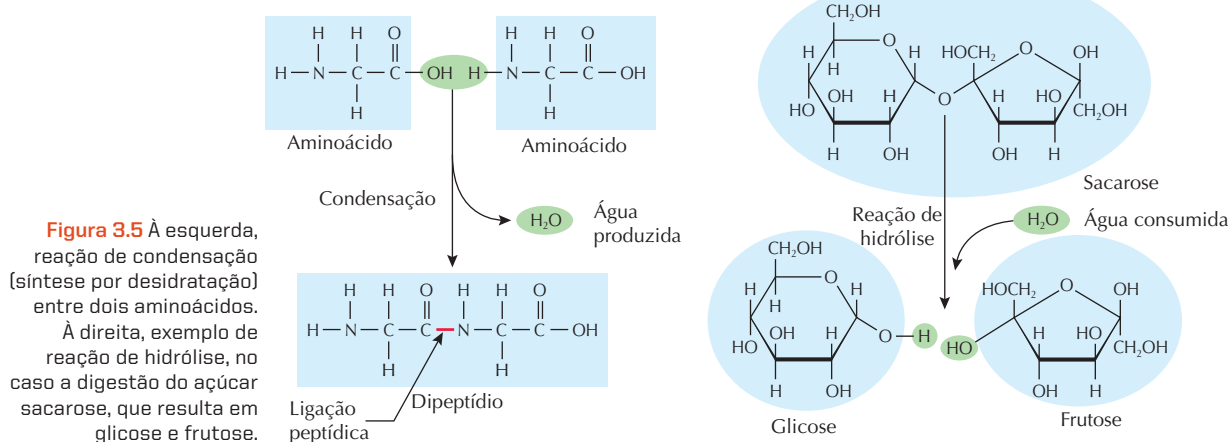
Importância biológica da coesão e adesão da água

Duas propriedades da água – a coesão e a adesão – são extremamente importantes para a vida. **Coesão** é o fenômeno de as moléculas de água manterem-se unidas umas às outras por meio de pontes de hidrogênio. **Adesão** é o fenômeno de as moléculas de água, por serem polarizadas, aderirem a superfícies constituídas por substâncias polares. Essa propriedade faz com que a água molhe materiais como tecidos de algodão, papel etc. e suba pelas paredes de tubos finos. Nas plantas, as propriedades de adesão e coesão da água atuam no deslocamento da seiva mineral, desde as raízes, onde ela é absorvida do solo, até as folhas no topo das árvores.

3 Importância biológica dos sais minerais

Sais minerais são substâncias inorgânicas formadas por íons, muitos dos quais fundamentais para o bom funcionamento dos seres vivos. A falta de certos minerais pode afetar seriamente o metabolismo e até causar a morte. Na espécie humana, por exemplo, os íons de cálcio (Ca^{2+}) participam das reações de coagulação do sangue e da contração muscular, além de serem componentes fundamentais dos ossos. É fácil imaginar as consequências desastrosas de sua falta para o organismo. Os íons de magnésio (Mg^{2+}), de manganês (Mn^{2+}) e de zinco (Zn^{2+}), entre outros, participam de reações químicas vitais às células. Os íons de sódio (Na^+) e de potássio (K^+) são responsáveis, entre outras funções, pelo funcionamento das células nervosas.

Íons inorgânicos, como os fosfatos (PO_4^{3-}) e os carbonatos (CO_3^{2-}), são importantes para o controle da acidez do ambiente interno das células. A acidez depende da concentração relativa de íons hidrogênio (H^+), que os químicos denominam **potencial hidrogeniônico**, ou **pH**. Quanto maior a concentração de H^+ em um meio, maior a sua acidez e menor o valor do pH ($\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$). O pH neutro é igual a 7. Muitas reações químicas essenciais à vida somente ocorrem se as condições de acidez forem favoráveis; sais como os fosfatos e os carbonatos são capazes de neutralizar o excesso de íons H^+ , regulando as condições de acidez do meio interno dos seres vivos.



1 Além de conhecer as principais características da água e sua importância para a vida em nosso planeta, todo cidadão responsável também tem de estar informado sobre o valor da água como recurso natural.

2 Já há escassez de água potável em países da África e do Oriente Médio e um relatório recente da ONU traz a sombria previsão de que, até o ano de 2050, cerca de 4 bilhões de pessoas viverão em condições de extrema falta de água. A essas más notícias soma-se a previsão da redução das chuvas como consequência da mudança climática global.

3 Cerca de 97,5% da água presente em nosso planeta é salgada, constituindo mares e oceanos. O restante, cerca de 2,5%, é de água doce; porém, esta se encontra quase que toda congelada ou no subsolo; apenas aproximadamente 0,01% está acessível para o consumo humano.

4 O Brasil detém quase 14% da água potável disponível no mundo. Entretanto, esse recurso distribui-se desigualmente pelo país. Na Bacia Amazônica, por exemplo, concentram-se mais de 73% do volume de água doce brasileiro, servindo a apenas cerca de 7% da população. O restante, cerca de 27%, distribui-se de maneira desigual por nosso território. A região Nordeste, por exemplo, conta com cerca de 5% das reservas de água potável do país, embora nela vivam quase 28% da população brasileira.

A falta de água pode ser evitada?

5 Conhecer melhor o ciclo da água e racionalizar seu consumo são providências importantes para o futuro da humanidade e todos podem (e devem) participar dessa empreitada. Por isso, os governos precisam investir em estudos sobre os recursos hídricos e todos os cidadãos devem aprender a usar racionalmente a água potável. Ainda há muito desperdício desse recurso na agricultura, na indústria e no uso doméstico.

De acordo com a Organização das Nações Unidas, cada pessoa necessita de cerca de 110 L de água por dia para atender às necessidades de consumo e higiene. No entanto, no Brasil, o consumo por pessoa pode chegar a mais de 200 L/dia. Veja a seguir algumas maneiras de racionalizar o consumo de água no seu dia a dia.

Lavando roupa:

No tanque, com a torneira aberta por quinze minutos, o gasto de água pode chegar a 279 L. Acumule uma quantidade razoável de roupas. Encha o tanque com água e ensaboe as roupas, mantendo a torneira fechada. Reutilize a água do enxágue para lavar o quintal ou a calçada.

NILSON
CARDOSO

Regando as plantas:

- Com mangueira por dez minutos: 186 L.
- Durante o verão faça rega pela manhã ou à noite, o que reduz a perda de água por evaporação. No inverno, faça a rega em dias alternados, pela manhã.

Lavando a calçada:

- Com mangueira durante quinze minutos: 279 L.
- Use vassoura e balde com a água de enxágue das roupas.

Lavando o carro:

- Com a torneira não muito aberta, durante trinta minutos: 216 L.
- Com balde: 40 L.

Tomando banho:

- Quinze minutos com o registro aberto na ducha: 135 L; no chuveiro elétrico: 45 L.
- Feche o registro ao se ensaboar e reduza o tempo para 5 minutos; na ducha: o consumo cai para 45 L; no chuveiro elétrico, cai para 15 L.

Escovando os dentes:

- Cinco minutos com a torneira não muito aberta: 12 L.
- Com a torneira fechada enquanto se escovam os dentes apenas enxaguando a boca após a escovação: 0,5 L.

Utilizando o vaso sanitário:

Não utilize o vaso sanitário como lixeira. Além de entupir o encanamento, o lixo pode voltar e sujar sua casa. Ao dar descarga, lembre-se de que a quantidade de água gasta é muito grande. Se as válvulas estiverem defeituosas, o desperdício é bem maior.

Lavando a louça:

- Com a torneira meio aberta por quinze minutos: 117 L.
- Limpe os restos de comida dos pratos e panelas com esponja e sabão antes de molhá-los. Feche a torneira. Ensaboe tudo e depois abra a torneira novamente para o enxágue. Em quinze minutos: 20 L.

Fonte dos dados:
<http://www.sabesp.com.br>
Acesso em: mar. 2010.

GUIA DE LEITURA

1. Leia os dois parágrafos iniciais do quadro. Imaginar um mundo com água potável escassa, embora assustador, nos leva a refletir sobre o que podemos fazer para contribuir positivamente nessa questão de cidadania.
2. O terceiro parágrafo comenta sobre reservas de água não potável. Não seria possível dessalinizar água do mar? Ou utilizar gelo polar derretido? Quais seriam os problemas dessas tecnologias? Considere esses temas para futuras pesquisas.
3. Leia o parágrafo de número 4 e exercite a decodificação de informações escritas passando-as para uma linguagem visual, por exemplo, um mapa do

Brasil dividido em regiões e com os dados estatísticos associados. Eventualmente, pesquise dados complementares de modo a compor um mapa com informações mais completas.

4. No quinto parágrafo, no item *A falta de água pode ser evitada?*, são mencionadas ações no interesse da cidadania para racionalizar o consumo de água, preservando-a para as futuras gerações humanas. As ilustrações e as respectivas legendas mostram atitudes cotidianas nesse sentido. Você acha que seria possível contribuir com alguma atitude para racionalizar seu consumo de água e o de sua família?

Glicídios

» Habilidade sugerida

► Conhecer os glicídios quanto às suas características químicas principais (tipos de componentes, estrutura molecular etc.) e suas funções gerais nos seres vivos.

» Conceitos principais

- glicídio
- monossacarídeo
- dissacarídeo
- polissacarídeo

1 Características gerais dos glicídios

Glicídios, também chamados de **açúcares**, **carboidratos** ou **hidratos de carbono**, são moléculas orgânicas constituídas fundamentalmente por átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio.

Os glicídios constituem a principal fonte de energia para os seres vivos e estão presentes em diversos tipos de alimento. Farinhas de trigo, de milho e de mandioca contêm o glicídio denominado amido; o açúcar de cana, largamente utilizado no dia a dia, é o glicídio sacarose; o leite contém o açúcar lactose; frutos adocicados contêm frutose e glicose, entre outros tipos de glicídio.

Além de constituir a mais importante fonte de energia para os seres vivos, os glicídios também desempenham papel relevante na estrutura corporal desses organismos. A celulose, por exemplo, que forma a parede das células vegetais e dá sustentação ao corpo das plantas, é um glicídio com função estrutural. Outro exemplo é a quitina, glicídio cuja molécula contém átomos de nitrogênio e constitui o mais importante componente da parede celular de fungos e do exoesqueleto dos artrópodes (insetos, aranhas, camarões etc.). (Fig. 3.6)

Os glicídios também fazem parte da estrutura dos ácidos nucleicos (DNA e RNA), que contêm instruções hereditárias e controlam indiretamente a maior parte das atividades celulares. O ATP (trifosfato de adenosina), a principal substância envolvida nos processos energéticos biológicos, também apresenta um glicídio (a ribose) em sua composição.

2 Classificação dos glicídios

Os glicídios podem ser classificados em três grupos, de acordo com o tamanho e a organização de sua molécula: monossacarídeos, dissacarídeos e polissacarídeos.

Figura 3.6 Na cana-de-açúcar (foto maior), a celulose que constitui as paredes celulares e a sacarose (o açúcar de cana) são glicídios. Na foto menor, o exoesqueleto que a libélula está abandonando, bem como o novo exoesqueleto formado são constituídos pelo polissacarídeo nitrogenado denominado quitina, um tipo de glicídio.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

DELFIN MARTINS /
PULSAR IMAGENS

ADRIAN BICKER/SCIENCE PHOTO
LIBRARY/SPL DCLATINSTOCK

Monossacarídeos são os glicídios mais simples, que apresentam entre 3 e 7 átomos de carbono na molécula e fórmula geral $C_n(H_2O)_n$. Glicídios de três carbonos e fórmula geral $C_3H_6O_3$ são denominados trioses; os de quatro carbonos e fórmula geral $C_4H_8O_4$ são tetroses; e assim por diante: pentoses ($C_5H_{10}O_5$), hexoses ($C_6H_{12}O_6$) e heptoses ($C_7H_{14}O_7$).

Além dos nomes genéricos, os monossacarídeos têm nomes específicos, de acordo com suas características químicas. Com certeza você já ouviu falar em glicose, frutose e galactose; eles são hexoses, isto é, monossacarídeos com 6 carbonos na molécula. Por outro lado, a ribose presente no RNA é um monossacarídeo do tipo pentose. (Fig. 3.7)

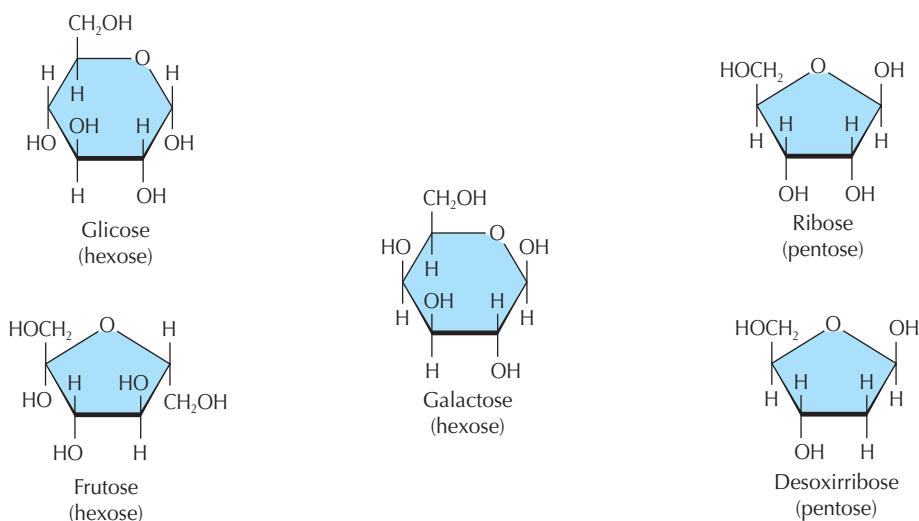


Figura 3.7 Fórmulas de alguns monossacarídeos. Nesses compostos, os átomos de carbono unem-se formando anéis pentagonais ou hexagonais. As fórmulas acima estão simplificadas e omitem os átomos de carbono localizados nos vértices dos anéis. Note que a desoxirribose é o único dos cinco que não apresenta fórmula geral $C_n(H_2O)_n$.

Dissacarídeos são glicídios constituídos por dois monossacarídeos quimicamente unidos. A sacarose, o principal açúcar presente na cana-de-açúcar, é um dissacarídeo formado pela união de uma glicose e uma frutose. Outro exemplo de dissacarídeo é a lactose, o açúcar do leite, constituído pela união de uma glicose e uma galactose. (Fig. 3.8)

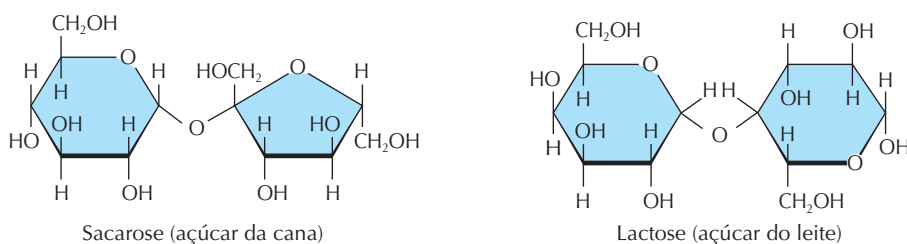


Figura 3.8 Fórmulas dos dissacarídeos sacarose e lactose.

Polissacarídeos são glicídios constituídos por centenas ou mesmo milhares de monossacarídeos quimicamente ligados. Moléculas de polissacarídeos são relativamente grandes quando comparadas à maioria das outras moléculas, e por isso são consideradas **macromoléculas** (do grego *makros*, grande).

Polissacarídeos são polímeros, denominação que se dá a moléculas constituídas pela repetição de centenas ou milhares de unidades idênticas (ou semelhantes), os monômeros. Exemplos de polissacarídeos são o amido (cujo monômero é a α glicose), o glicogênio (o monômero também é a α glicose), a celulose (o monômero é a β glicose) e a quitina (o monômero é a *N*-acetilglucosamina). A α glicose e a β glicose são formas de glicose interconvertíveis, isto é, que podem se transformar uma na outra, diferindo quanto à posição do hidrogênio ($-H$) e da hidroxila ($-OH$) ligados ao chamado carbono 1.



Habilidade sugerida

- ▶ Conhecer os lipídios quanto às suas características químicas principais (tipos de componentes, estrutura molecular etc.) e suas funções gerais nos seres vivos.

Conceitos principais

- lipídio
- glicerídio
- cera
- esteroide
- colesterol
- fosfolipídio
- carotenoide

Figura 3.9 Óleos e gorduras não se misturam com água; suas moléculas, apolares, não têm afinidade pelas moléculas polarizadas da água. As aves aquáticas lubrificam as penas com substâncias oleosas produzidas por uma glândula especial localizada na cauda, o que faz as penas repelirem a água, impedindo que a pele se molhe.

FABIO COLOMBINI



JOHN FOX COLLECTION



Lipídios

1 O que são lipídios

O termo **lipídio** designa alguns tipos de substância orgânica, como óleos, ceras e gorduras, cuja principal característica é a insolubilidade em água e a solubilidade em certos solventes orgânicos. Você já deve ter observado que óleos e gorduras não se misturam à água; a razão dessa insolubilidade é que as moléculas dos lipídios são **apolares** e, portanto, não têm afinidade pelas moléculas polarizadas da água. (Fig. 3.9)

2 Tipos de lipídio

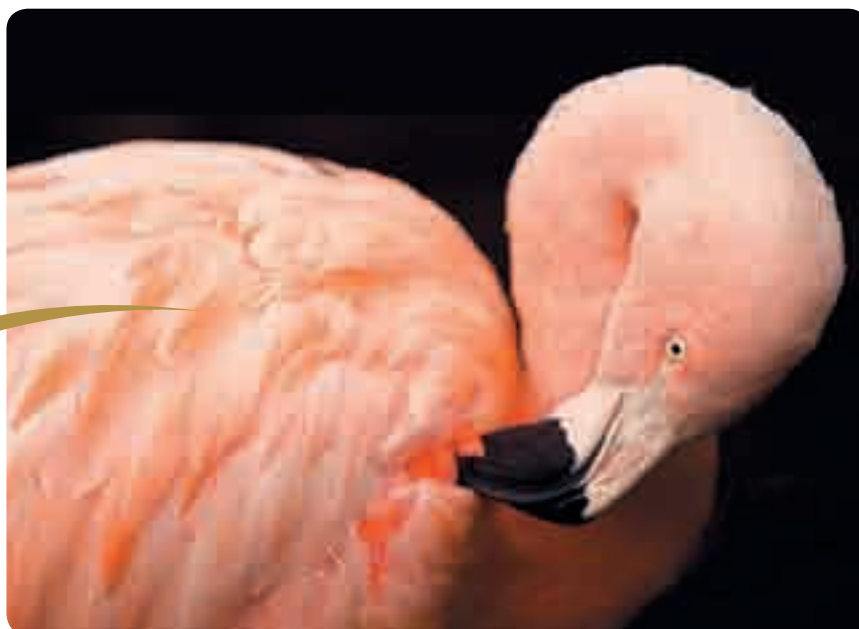
Os principais tipos de lipídio são glicerídios, ceras, carotenoides, fosfolipídios e esteroides. Veremos, a seguir, as principais características de cada um deles.

Glicerídios

Glicerídios são constituídos por moléculas do álcool glicerol ligadas a uma, a duas ou a três moléculas de ácidos graxos; neste último caso, os glicerídios são conhecidos como triglicerídios, ou triglicérides. São glicerídios os óleos e as gorduras, que diferem quanto ao ponto de fusão: óleos são líquidos à temperatura ambiente, e gorduras são sólidas.

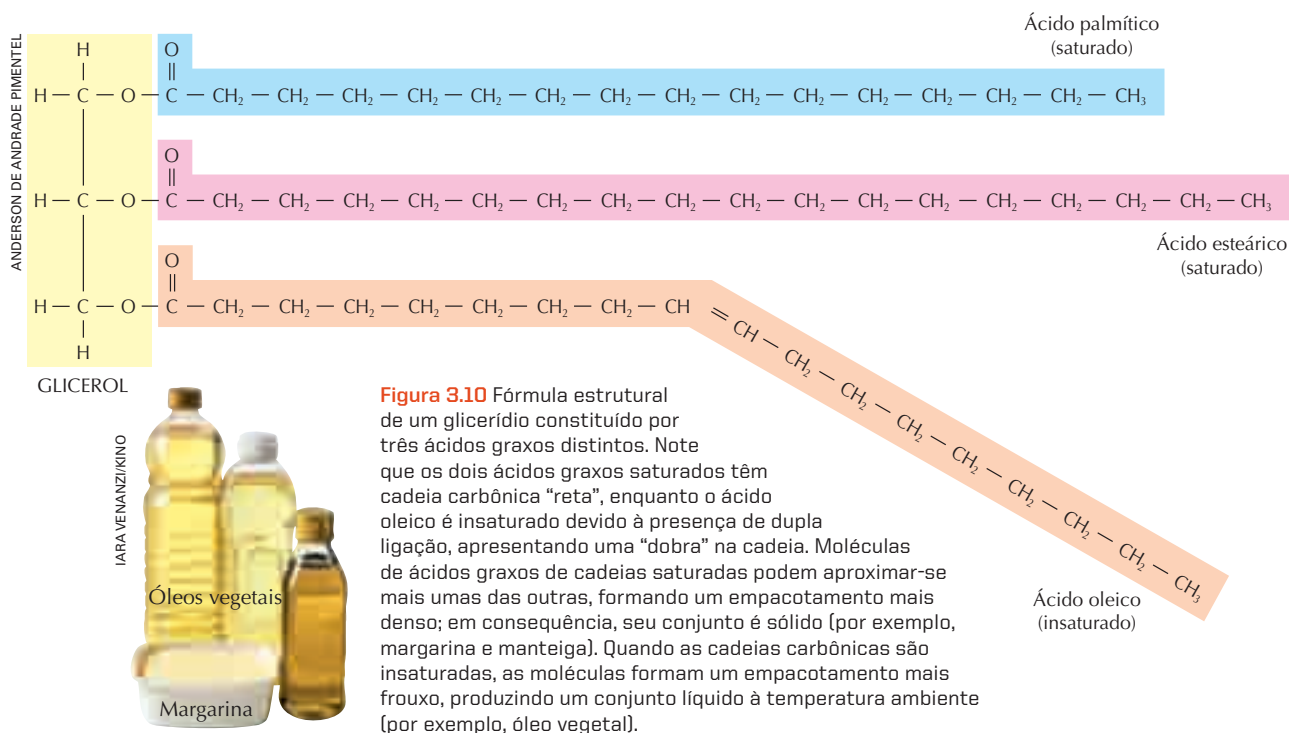
O **glicerol** ($C_3H_8O_3$) é um álcool cujas moléculas têm três átomos de carbono, aos quais estão unidos grupos hidroxila ($-OH$). **Ácidos graxos** são formados por longas cadeias de número par de átomos de carbono com um grupo terminal denominado carboxila ($-COOH$).

Uma curiosidade interessante sobre os glicerídios é relativa à fabricação das margarinas vegetais, bastante utilizadas atualmente em substituição à manteiga. Se você ler atentamente o rótulo de uma margarina, deverá encontrar a seguinte inscrição: “Fabricada com óleos vegetais hidrogenados”. O que isso significa? Simplesmente que, por meio de uma reação química em que se adicionou hidrogênio às moléculas de óleos vegetais (hidrogenação), estes se tornaram sólidos e com consistência pastosa à temperatura ambiente.



NIALl MCDIARMID/ALAMY/OTHER IMAGES

A possibilidade de transformar óleo em margarina decorre de uma propriedade das moléculas de ácidos graxos que compõem o glicerídeo. Se os ácidos graxos forem todos de cadeia **saturada**, isto é, se todos os carbonos da cadeia de ácido graxo estiverem unidos por ligações simples, o glicerídeo será uma gordura. Por outro lado, se um ou mais dos ácidos graxos do glicerídeo tiverem cadeia **insaturada**, isto é, apresentarem dupla ligação em um ou mais pares de carbonos da cadeia, o glicerídeo será um óleo. Os químicos das indústrias de margarina promovem a ligação de átomos de hidrogênio aos carbonos que fazem a ligação dupla, desfazendo-a. Assim, as cadeias carbônicas de ácido graxo, artificialmente saturadas, tornam-se “retas” e podem adquirir um empacotamento mais denso, passando a apresentar consistência pastosa à temperatura ambiente. (Fig. 3.10)



Os seres vivos utilizam glicerídios como reserva de energia para momentos de necessidade. Por exemplo, muitas plantas armazenam grande quantidade de óleo em suas sementes, cuja função é alimentar o embrião durante seu desenvolvimento. A soja, o girassol, o milho e a canola, entre outras plantas, têm sementes oleaginosas, utilizadas pela humanidade na fabricação de óleo de cozinha. Aves e mamíferos armazenam gordura em células especiais, em uma camada embaixo da pele. Além de servir de reserva energética, essa camada gordurosa atua como um isolante térmico, ajudando a manter constante a temperatura corporal.

Pesquisas científicas têm mostrado os perigos do consumo excessivo de alimentos gordurosos. Certos ácidos graxos podem levar ao desenvolvimento da aterosclerose (deposição de lipídios na parede das artérias com perda de sua elasticidade), o que pode resultar em doenças cardiovasculares, causar infarto do coração e acidentes vasculares cerebrais (AVCs).

Uma dieta saudável deve conter certa quantidade de gorduras e óleos, pois, entre outras funções, eles são necessários para o organismo absorver as chamadas vitaminas lipossolúveis (vitaminas A, D, E e K), que só se dissolvem em lipídios. Além disso, também necessitamos de certos ácidos graxos que não conseguimos produzir, os chamados lipídios essenciais. Eles estão presentes em diversos óleos vegetais e em peixes marinhos (por exemplo, no conhecido óleo de fígado de bacalhau), e são importantes para a construção das membranas celulares e para a síntese das prostaglandinas, substâncias que regulam diversos processos orgânicos, como contração da musculatura lisa, agregação de plaquetas do sangue, processos inflamatórios etc.

Ceras

Ceras são substâncias formadas por uma molécula de álcool diferente do glicerol unida a uma ou mais moléculas de ácidos graxos. Há ceras constituídas por moléculas de álcool de até 16 átomos de carbonos na cadeia.

Por serem altamente insolúveis em água, as ceras são muito úteis para plantas e animais. As folhas de muitas plantas têm a superfície recoberta de cera, o que as torna impermeáveis, reduzindo a perda de água por transpiração. As ceras também estão presentes no revestimento corporal de diversos insetos; algumas espécies, como as abelhas, utilizam cera na construção das colmeias.

Esteroides

Os **esteroides** diferem marcadamente de glicerídios e ceras, constituindo uma categoria especial de lipídios. As moléculas de esteroides são compostas por átomos de carbono interligados, formando quatro anéis carbônicos, aos quais estão ligadas cadeias carbônicas, grupos hidroxila ou átomos de oxigênio. (Fig. 3.11)

O **colesterol** é um dos esteroides mais conhecidos, principalmente por estar associado ao infarto do coração e a outras doenças do sistema cardiovascular. Sabe-se que a ingestão exagerada de colesterol nas gorduras animais pode trazer diversos distúrbios à saúde. Entretanto, o colesterol é necessário ao organismo humano porque, entre outras razões, é um importante componente das membranas das células animais, sendo também precursor de hormônios esteroides como a progesterona e a testosterona. Curiosamente, as membranas das células de plantas e de células bacterianas não têm colesterol.

O colesterol é produzido em nosso próprio organismo, principalmente no fígado, ou obtido em alimentos de origem animal. Depois de absorvido no intestino, ele é transportado aos diversos tecidos por proteínas especiais presentes no sangue. As células utilizam colesterol como matéria-prima para a produção das membranas celulares e dos hormônios esteroides. O estrógeno e a testosterona, respectivamente os hormônios sexuais feminino e masculino dos animais vertebrados, são produzidos a partir do colesterol.

Fosfolipídios

Os **fosfolipídios** são os principais componentes das biomembranas. Do ponto de vista químico, um fosfolipídio é um glicerídio combinado a um grupo fosfato. A molécula de fosfolipídio lembra um palito de fósforo, com uma “cabeça” eletricamente carregada e uma haste sem carga elétrica, constituída por duas “caudas” de ácido graxo. (Fig. 3.12)

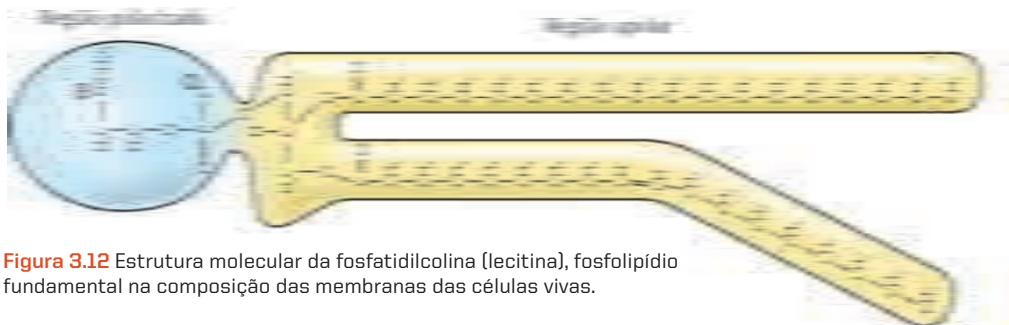


Figura 3.12 Estrutura molecular da fosfatidilcolina (lecitina), fosfolipídio fundamental na composição das membranas das células vivas.

Carotenoides

Carotenoides são pigmentos, de cor vermelha, laranja ou amarela, insolúveis em água e solúveis em óleos e solventes orgânicos. Estão presentes nas células de todas as plantas, nas quais desempenham papel importante no processo de fotossíntese.

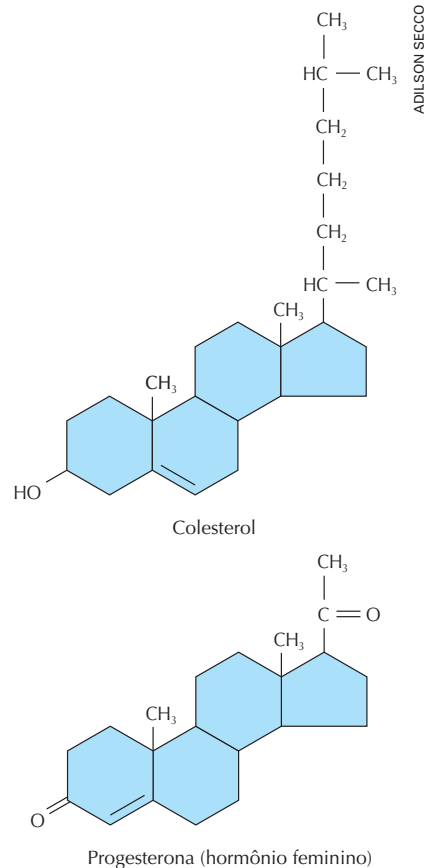


Figura 3.11 Fórmulas de dois esteroides, o colesterol e a progesterona. Os hexágonos e os pentágonos são representações simplificadas da fórmula: em cada vértice há um átomo de carbono ligado a átomos de hidrogênio, não mostrados. Note que esses dois esteroides têm o mesmo “esqueleto” básico, formado por quatro anéis interligados.

Os carotenoides são importantes também para muitos animais. Por exemplo, a molécula de **caroteno**, um carotenoide alaranjado presente na cenoura e em outros vegetais, é matéria-prima para a produção da **vitamina A**, essencial a muitos animais. Essa vitamina é importante, por exemplo, para nossa visão, pois é precursora do **retinal**, uma substância sensível à luz presente na retina dos olhos dos vertebrados. (Fig. 3.13)

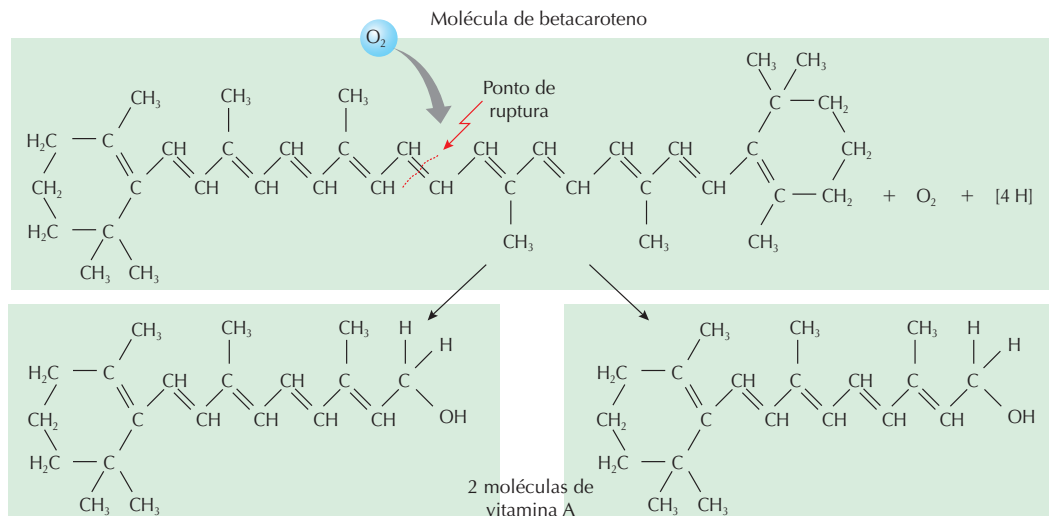


Figura 3.13 A molécula do betacaroteno, presente em diversas plantas, quando absorvida por nossas células origina duas moléculas de vitamina A, importante para a visão.

ADILSON SECCO

CIÊNCIA E CIDADANIA

Colesterol e saúde

- 1 Talvez você já tenha ouvido falar em “colesterol bom” e “colesterol ruim”. Essas expressões não se referem à molécula de colesterol em si, que é sempre a mesma, mas a proteínas sanguíneas encarregadas do transporte de colesterol e de diversos outros lipídios. Essas proteínas associam-se a lipídios formando lipoproteínas, conhecidas pelas siglas **LDL** (do inglês *Low Density Lipoprotein*, lipoproteína de baixa densidade) e **HDL** (do inglês *High Density Lipoprotein*, lipoproteína de alta densidade).
- 2 As LDL são as principais transportadoras de colesterol, enquanto as HDL são as principais transportadoras de fosfolipídios (lipídios associados a fosfatos). Ambas, entretanto, podem transportar os dois tipos de lipídio.
- 3 O colesterol sintetizado no fígado ou absorvido dos alimentos de origem animal (alimentos de origem vegetal não possuem colesterol) é transportado pelo sangue na forma de LDL. Nos tecidos do corpo, o complexo colesterol-proteína é englobado pelas células e o colesterol é utilizado como matéria-prima para a síntese das membranas celulares.
- 4 Concentrações muito elevadas de colesterol no sangue, no entanto, diminuem o processo de captação do complexo colesterol-LDL pelas células. Com isso, o complexo LDL em excesso no sangue oxida-se e pode

se acumular na parede das artérias, formando placas ateroscleróticas. O crescimento dessas placas pode levar ao entupimento de uma artéria e bloquear o fluxo de sangue. Quando isso ocorre em artérias do coração ou do cérebro, o resultado é um ataque cardíaco ou isquemia cerebral, respectivamente. Por isso, o colesterol associado ao LDL é chamado “colesterol ruim” e não deve estar em excesso no sangue.

5 As lipoproteínas HDL capturam parte do excesso de colesterol do sangue, transportando-o até o fígado, onde ele é eliminado na bile. Portanto, o HDL ajuda a eliminar colesterol do sangue e, por isso, o complexo colesterol-HDL é chamado de “colesterol bom”. Acredita-se que a ingestão de óleos vegetais insaturados, como os presentes no azeite de oliva, contribua para manter os níveis normais de colesterol no sangue e para aumentar a produção de HDL (“colesterol bom”). O azeite também aumenta a taxa de secreção de bile pelo fígado, estimulando a digestão e a absorção das gorduras e das vitaminas lipossolúveis.

6 Estudos populacionais têm mostrado uma relação entre os níveis de colesterol no sangue e o risco de desenvolvimento de doenças cardíacas. Segundo a Associação Americana do Coração, a relação entre os níveis de colesterol sanguíneo total de uma pessoa em jejum e o risco para doenças cardíacas é a seguinte:

Nível de colesterol sanguíneo (mg/dL)	Risco de doença cardíaca
<200	Nível desejável: menor risco de doença cardíaca
200-239	Limiar de alto risco
>240	Nível não desejável: alto risco

7 Exames mais modernos permitem estimar os níveis de colesterol-HDL e de colesterol-LDL e tendem a substituir os exames de colesterol total. Nesse caso, o desejável é que o nível de colesterol-HDL (“bom”) seja maior do que 60 mg/dL de sangue e que o de colesterol-LDL (“ruim”) seja menor do que 100 mg/dL de sangue para as pessoas em geral, ou menor do que 70 mg/dL para pessoas que apresentam alto risco de doenças cardíacas.

GUIA DE LEITURA

1. Leia os dois parágrafos iniciais do quadro. Como você responderia a alguém que afirmasse: “há dois tipos de molécula de colesterol: uma boa e outra ruim para o organismo”?
2. O terceiro parágrafo apresenta a função normal do transporte de colesterol pelo LDL sanguíneo. Certifique-se de ter compreendido que o colesterol é necessário ao nosso organismo, em níveis normais.
3. Leia o quarto parágrafo do quadro e responda resumidamente, ou por meio de um esquema: qual é a relação entre o excesso de colesterol sanguíneo e a formação de placas ateroscleróticas? Qual é a consequência disso para a saúde?
4. Pela leitura do quarto e do quinto parágrafos, podemos reunir informações para definir o que é “colesterol ruim” e “colesterol bom”. Segundo o texto, que providências quanto à dieta podem diminuir o primeiro e aumentar o segundo?
5. Os dois últimos parágrafos (6 e 7) do quadro relacionam o nível de colesterol sanguíneo e o risco de doenças sanguíneas. Com base no que foi discutido no texto, os exames dos níveis de LDL e HDL dariam mais ou menos informações sobre o metabolismo da pessoa que o exame do colesterol total no sangue? Por quê?

Seção 3.5

Proteínas

1 O que são proteínas

Hoje sabemos que as moléculas de **proteína** são formadas por dezenas, centenas ou milhares de moléculas de aminoácido ligadas em sequência, como elos em uma corrente. Em outras palavras, proteínas são polímeros em que os monômeros são aminoácidos. Um **aminoácido** é uma molécula orgânica formada por átomos de carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio unidos entre si de maneira característica, como veremos a seguir. Alguns tipos de aminoácido podem também conter átomos de enxofre.

Se compararmos as fórmulas dos vinte aminoácidos que entram na composição das proteínas, notaremos que todas elas apresentam um átomo de carbono denominado carbono-alfa, ao qual se ligam um grupo amina ($-\text{NH}_2$), um grupo carboxila ($-\text{COOH}$), um átomo de hidrogênio ($-\text{H}$) e um quarto grupo genericamente denominado $-\text{R}$ (de radical), que varia nos diferentes aminoácidos, caracterizando-os. Por exemplo, na glicina, $-\text{R}$ é um átomo de hidrogênio; na alanina, é o grupamento $-\text{CH}_3$; e, na cisteína, é o grupamento $-\text{CH}_2\text{SH}$. (Fig. 3.14)

Habilidades sugeridas

- Conhecer as proteínas quanto às suas características químicas principais e suas funções gerais nos seres vivos.
- Reconhecer o papel de um grupo especial de proteínas – as enzimas – como catalisadores biológicos.

Conceitos principais

- **proteína**
- **aminoácido**
- **ligação peptídica**
- **peptídio**
- **desnaturação da proteína**
- **enzima**
- **modelo chave-fechadura**
- **fenilcetonúria**

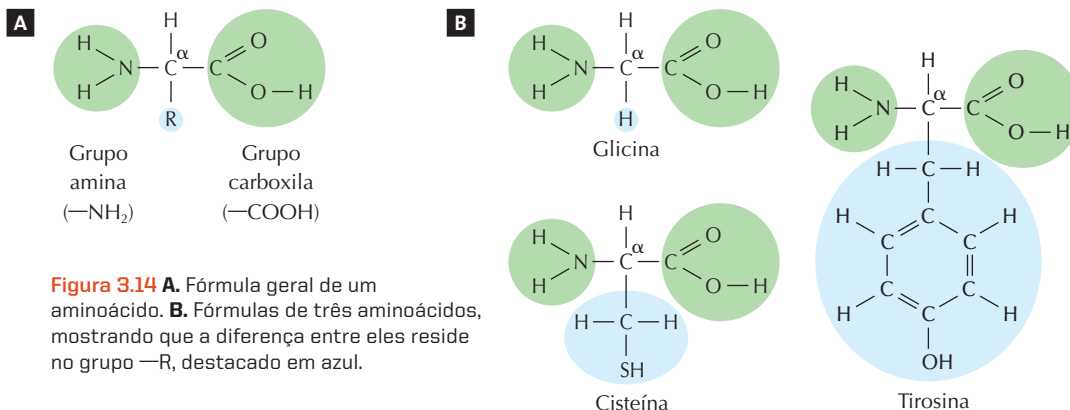


Figura 3.14 **A.** Fórmula geral de um aminoácido. **B.** Fórmulas de três aminoácidos, mostrando que a diferença entre eles reside no grupo $-\text{R}$, destacado em azul.

Ligação peptídica

A ligação entre dois aminoácidos vizinhos em uma molécula de proteína é denominada **ligação peptídica** e ocorre sempre entre o grupo amina de um aminoácido e o grupo carboxila do vizinho. (Fig. 3.15)

Moléculas resultantes da condensação de aminoácidos são genericamente chamadas **peptídios**. Dois aminoácidos formam um **dipeptídio**, três formam um **tripeptídio**, quatro um **tetrapeptídio** e assim por diante. Os termos **oligopeptídio** (do grego *oligo*, pouco) e **polipeptídio** (do grego *poli*, muito) são também usados para denominar as moléculas formadas, respectivamente, por poucos e por muitos aminoácidos. Proteínas são geralmente constituídas por grande número de aminoácidos e, por isso, pertencem à categoria dos polipeptídios.

Em que diferem as proteínas?

Proteínas podem diferir umas das outras nos seguintes aspectos: a) pela quantidade de aminoácidos da cadeia polipeptídica; b) pelos tipos de aminoácidos presentes na cadeia; c) pela sequência em que os aminoácidos estão unidos na cadeia. Assim, mesmo que duas proteínas possuam exatamente o mesmo número e as mesmas proporções de tipos de aminoácido, elas podem ser diferentes, dependendo da sequência em que esses aminoácidos estão unidos.

Teoricamente, há um número imenso de combinações possíveis entre os vinte tipos de aminoácido nas proteínas. E, de fato, já foram identificados milhares de tipos de proteína nos organismos vivos; calcula-se que no corpo de uma pessoa existam entre 100 mil e 200 mil tipos diferentes de proteína.

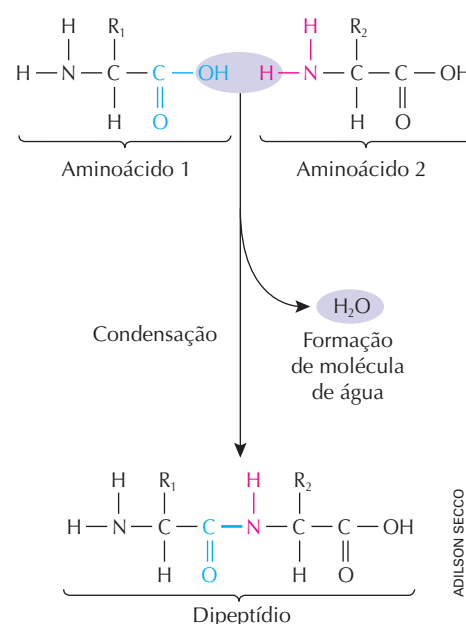


Figura 3.15 Representação esquemática da formação de uma ligação peptídica entre dois aminoácidos.

2

Arquitetura das proteínas

A sequência linear de aminoácidos de uma cadeia polipeptídica é denominada **estrutura primária** e tem fundamental importância para a função que a proteína irá desempenhar.

A estrutura primária de um polipeptídio determina os tipos de enrolamentos e dobramentos que ocorrerão na cadeia. Em outras palavras, é a estrutura primária do polipeptídio que determina sua forma no espaço, genericamente chamada de estrutura espacial. A maioria dos polipeptídios apresenta um primeiro nível de enrolamento helicoidal, comparável ao de um fio de telefone. Esse nível de enrolamento, chamado de **estrutura secundária**, é causado pela atração entre certos grupos de aminoácidos próximos.

A cadeia polipeptídica, já enrolada helicoidalmente em estrutura secundária, costuma dobrar-se sobre si mesma formando o que os bioquímicos chamam de **estrutura terciária**. O dobramento resulta da atração entre diferentes partes da molécula e também da atração e repulsão que os radicais dos aminoácidos exercem sobre as moléculas de água circundante.



Certas proteínas são constituídas por uma única cadeia polipeptídica, mas há outras compostas de duas ou mais cadeias polipeptídicas quimicamente unidas. Assim, além da estrutura terciária apresentada pelas cadeias polipeptídicas isoladas, surge mais um nível de organização espacial, denominado **estrutura quaternária**. A hemoglobina do nosso sangue, por exemplo, é composta por quatro cadeias polipeptídicas, sendo um par de cadeias α e um par de cadeias β , ligadas a um grupamento químico que contém ferro. (Fig. 3.16)

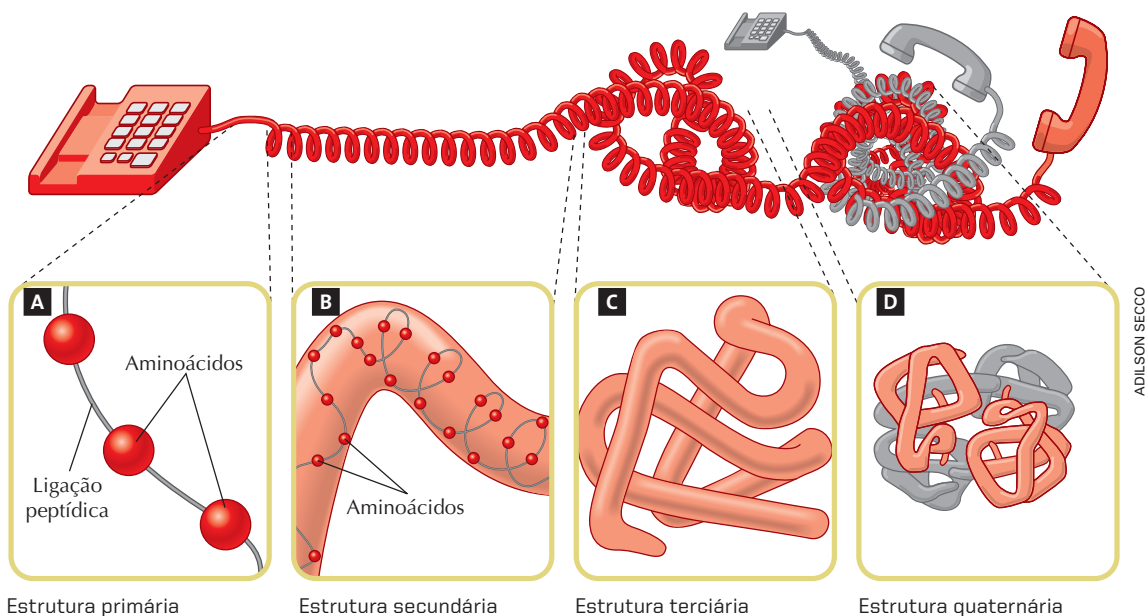


Figura 3.16 Analogia entre os níveis de enovelamento de uma proteína e os de um fio de telefone. **A.** A sequência de aminoácidos de uma molécula de proteína é sua estrutura primária. **B.** Interações por pontes de hidrogênio entre os aminoácidos da cadeia polipeptídica fazem o filamento proteico enrolar-se em forma de hélice (ou em outra configuração regular), produzindo a estrutura secundária. **C.** A estrutura terciária resulta do dobramento da estrutura helicoidal sobre si mesma, devido principalmente a interações entre os radicais ($-R$) dos aminoácidos. **D.** Proteínas formadas por mais de uma cadeia polipeptídica têm estrutura quaternária, que resulta da associação entre as cadeias. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)

Desnaturação das proteínas

Temperatura, grau de acidez, concentração de sais e a polaridade do meio podem afetar a estrutura espacial das proteínas, fazendo com que suas moléculas se desenrolem e modificando a conformação original. A alteração da estrutura espacial de uma proteína é chamada **desnaturação**.

O calor excessivo desnatura as proteínas porque o aumento da agitação molecular causada pela alta temperatura rompe ligações fracas, responsáveis pela manutenção da forma das moléculas. Por exemplo, em um ovo fresco cada molécula de albumina encontra-se na forma de um pequeno glóbulo em solução aquosa, o que determina a consistência semilíquida da clara. Com o calor do cozimento, as moléculas de albumina se desnaturam, desenrolando-se e emaranhando-se umas às outras; isso leva à formação da massa compacta e sólida da clara do ovo cozido ou frito. (Fig. 3.17)



Figura 3.17 O ovo é muito rico em proteínas. Seu cozimento provoca uma alteração na forma espacial de suas moléculas, que se aglomeram provocando o endurecimento da clara e da gema.

Meios fortemente ácidos ou básicos também podem desnaturar proteínas, desmantelando as atrações elétricas que ajudam a manter a estrutura espacial das moléculas proteicas. Na fabricação dos queijos e iogurtes, o acúmulo de ácido láctico liberado por microrganismos fermentadores acidifica o leite e desnatura suas proteínas, que se emaranham e solidificam.

- 1 Conhecer a importância das proteínas na alimentação humana permitiu descobrir porque ocorrem determinadas doenças relacionadas à alimentação inadequada. Para que nossas células produzam proteínas, elas precisam de matéria-prima: os aminoácidos. Estes podem ser obtidos pela ingestão de alimentos ricos em proteínas ou produzidos pelas próprias células pela transformação de outras moléculas orgânicas.
- 2 Alguns organismos, particularmente os seres autotróficos, são capazes de produzir todos os 20 tipos de aminoácido necessários para a produção das proteínas; consequentemente, eles não precisam ingerir aminoácidos do meio. Outros organismos, entre os quais nossa espécie, conseguem produzir alguns aminoácidos, mas outros não; por isso, estes últimos precisam ser obtidos prontos no alimento ingerido.
- 3 Aminoácidos que um organismo não consegue produzir são chamados de **aminoácidos essenciais** e precisam fazer parte da dieta alimentar; aminoácidos que podem ser produzidos a partir de outras substâncias celulares são chamados de **aminoácidos não essenciais**, ou **naturais**.

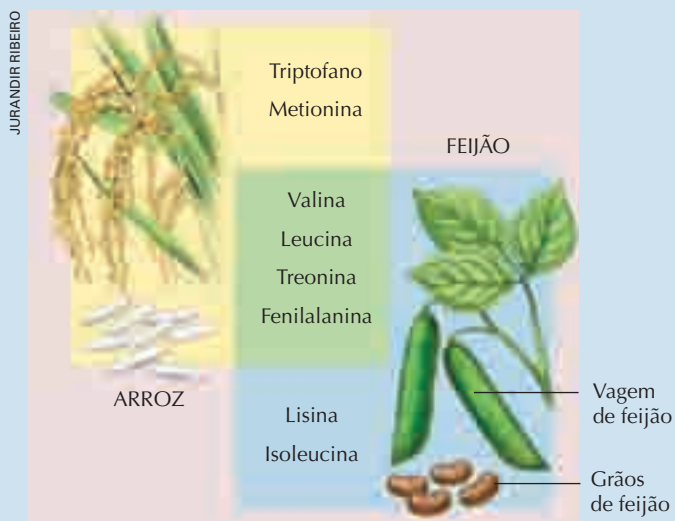


Figura 3.18 A mistura de arroz e feijão, típica na alimentação dos brasileiros, fornece todos os aminoácidos essenciais humanos. Note que o feijão é deficiente em triptofano e metionina, e no arroz há pouca lisina e isoleucina. Juntos, esses dois alimentos se complementam nesse aspecto nutricional. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)

4 As células humanas conseguem produzir doze dos vinte tipos de aminoácido que compõem as proteínas; esses são, portanto, os aminoácidos naturais para a espécie humana. Os oito tipos de aminoácidos essenciais para os seres humanos, que devem ser obtidos pela ingestão de alimentos ricos em proteína, são: isoleucina, leucina, valina, fenilalanina, metionina, treonina, triptofano e lisina; os recém-nascidos, além desses, não conseguem sintetizar histidina.

5 Nossas principais fontes alimentares de aminoácidos essenciais são as carnes, o leite, os queijos e outros alimentos de origem animal. Alimentos de origem vegetal geralmente são deficientes em um ou em alguns aminoácidos essenciais. Pessoas vegetarianas, entretanto, podem obter todos os aminoácidos essenciais se fizerem a combinação correta dos vegetais utilizados na alimentação. (Fig. 3.18)

Doenças relacionadas à nutrição: *kwashiorkor* e *marasmo*

- 6 Em certas regiões do mundo, onde as pessoas dependem de uma ou poucas fontes vegetais para se alimentar, são comuns as deficiências nutricionais em componentes proteicos, necessários ao pleno desenvolvimento físico e mental. Em algumas localidades pobres da África e da América do Sul, por exemplo, as crianças são desmamadas precocemente (em geral porque a mãe engravidou de novo) e passam a ser alimentadas com uma dieta rica em carboidratos e pobre em proteínas, em geral, açúcar de cana e banana. Nesses casos, é comum manifestar-se o quadro de desnutrição conhecido como *kwashiorkor*. Essa palavra, originária da África Ocidental, quer dizer, justamente, “doença que afeta uma criança quando nasce outra”.

7 O *kwashiorkor* resulta de uma deficiência grave de aminoácidos essenciais, que compromete a síntese de proteínas nas células e causa diminuição do conteúdo proteico do sangue. Com isso, a pressão osmótica sanguínea diminui e água começa a passar do sangue para os tecidos, nos quais se acumula, provocando inchaços (edemas), particularmente evidentes no abdome. As pessoas não passam fome, mas estão sendo alimentadas incorretamente, ou seja, são **malnutridas**.

8 No Brasil, o principal problema alimentar das crianças em regiões carentes não é a malnutrição, mas a **subnutrição**. Quando ingere uma quantidade de alimento insuficiente, que não supre a demanda energética necessária às atividades celulares, a pessoa é subnutrida. Nesses casos, ela se torna muito magra, com músculos atrofiados, pele frouxa e aparência envelhecida, quadro conhecido como **marasmo**. (Fig. 3.19)



Figura 3.19 A. Criança com sintomas de *kwashiorkor*, doença causada pela falta de proteínas na dieta e caracterizada por grande inchaço do abdome; frequentemente essa forma de malnutrição causa prejuízos ao desenvolvimento do sistema nervoso, levando ao retardamento mental. B. Criança com desnutrição devida à falta de alimento, quadro conhecido como marasmo. A pele é frouxa e tem aparência envelhecida, e os músculos são atrofiados. O abdome é distendido devido a gases intestinais liberados por bactérias.

GUIA DE LEITURA

1. A partir da leitura dos dois parágrafos iniciais do quadro, responda: por que precisamos ingerir aminoácidos?
2. Leia o terceiro parágrafo. Certifique-se de ter compreendido o que são aminoácidos essenciais e aminoácidos naturais.
3. Leia o quarto parágrafo do quadro, que enumera os aminoácidos naturais essenciais para a espécie humana. Reveja, no texto sobre proteínas (Fig. 3.14), as fórmulas de três aminoácidos; eles são essenciais ou naturais para nossa espécie?
4. Leia o quinto parágrafo do quadro e analise a figura correspondente. Como você responderia a alguém que afirmasse que alimentos de origem vegetal são deficientes em aminoácidos essenciais e que, portanto, não é saudável ser vegetariano?
5. Leia os parágrafos 6 e 7 do item *Doenças relacionadas à nutrição: kwashiorkor e marasmo*. Responda em poucas palavras: o que é *kwashiorkor* e por que é considerado uma forma de malnutrição?
6. No oitavo e último parágrafo, comenta-se sobre o marasmo, que infelizmente ainda ocorre em nosso país. Por que esse problema nutricional é considerado uma forma de subnutrição? Um tema interessante de pesquisa complementar seria a subnutrição no Brasil. Considere-o para pesquisas futuras.

3 Funções das proteínas

Proteínas são substâncias de fundamental importância na estrutura e no funcionamento dos seres vivos. A forma das células, por exemplo, deve-se à presença de um esqueleto interno constituído por filamentos proteicos, o **citoesqueleto**. Além disso, as proteínas fazem parte da estrutura de todas as membranas celulares e dão consistência ao citoplasma.

Além da função estrutural, um grupo de proteínas – as enzimas – participa de praticamente todas as reações químicas vitais, estimulando-as. Consequentemente, todo o metabolismo depende da ação dessas proteínas enzimáticas, como veremos a seguir.

Enzimas

Enzimas são proteínas que participam de processos biológicos, aumentando sua velocidade, porém sem se alterar durante o processo. Capacidade semelhante já havia sido observada em certas substâncias inorgânicas, que aumentavam a velocidade de determinadas reações químicas, mas podiam ser recuperadas intactas, ao fim da reação. Para os químicos, esses agentes são chamados de catalisadores. Para os biólogos, que tomaram emprestado o termo da Química, as enzimas são **catalisadores biológicos**.

Uma enzima é uma molécula polipeptídica geralmente de grande tamanho, enrolada sobre si mesma formando um glóbulo. Na superfície da enzima há saliências e reentrâncias, que permitem o encaixe das moléculas sobre as quais a enzima atuará, genericamente chamados de substratos enzimáticos. Locais da enzima que propiciam o encaixe ao substrato são denominados **centros ativos**.

As enzimas têm atuações específicas, isto é, uma enzima atua somente em uma ou em poucas reações biológicas. A especificidade de uma enzima é explicada pelo fato de seus centros ativos se encaixarem corretamente apenas a seus substratos específicos, como uma chave se encaixa apenas à sua fechadura. Esse modelo para explicar o funcionamento enzimático é chamado de **modelo chave-fechadura**.

O encaixe com a enzima facilita a modificação dos substratos, originando os produtos da reação. Estes se libertam da enzima, que pode atuar novamente. Assim, as enzimas participam das reações químicas sem ser consumidas e sem sofrer alterações moleculares, cumprindo seu papel de catalisadores biológicos. (Fig. 3.20)

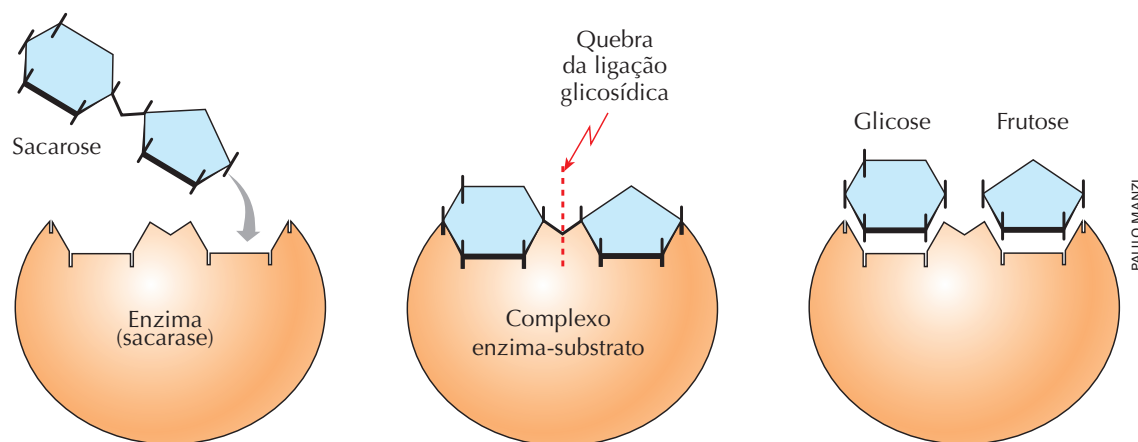


Figura 3.20 Modelo da chave-fechadura para a ação enzimática, aqui representando a enzima sacarase, ou invertase. Ao se ligar à molécula de sacarose, a enzima facilita a quebra da ligação entre os monossacarídeos que a compõem, a glicose e a frutose. Ao final da reação, a sacarase encontra-se intacta, pronta para se associar novamente a outra sacarose.

Em algumas reações enzimáticas, as moléculas de substrato são quebradas em moléculas menores. É o que ocorre, por exemplo, quando moléculas de amido presentes no alimento são “atacadas” por moléculas da enzima ptialina, ou amilase salivar, presente na saliva. A ptialina catalisa a quebra (hidrólise) da molécula de amido, liberando moléculas de maltose, um dissacarídeo. Talvez você já tenha notado que, ao mastigar um pedaço de pão por muito tempo, ele começa a adquirir sabor adocicado. Essa mudança deve-se à quebra do amido, que leva à produção de maltose, glicídio de sabor doce.

Em certos casos, as enzimas favorecem a união de moléculas para formar moléculas maiores. Por exemplo, a reação de produção de amido exige participação de enzimas que reúnem e ligam moléculas de glicose (substrato) para formar as longas cadeias de amilose e amilopectina, constituintes do amido.

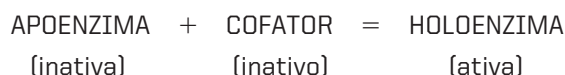
Em outros casos, ainda, as enzimas favorecem a transformação de uma substância em outra pela modificação de ligações entre seus átomos. Esses tipos de reações químicas ocorrem continuamente no interior de qualquer organismo vivo.

A nomenclatura das enzimas costuma utilizar o nome do substrato enzimático (proteína, lipídio etc.) acrescido do sufixo **-ase**. Para designar as enzimas que digerem proteínas, por exemplo, falamos em **proteases**; enzimas que digerem lipídios são **lipases**. O sufixo **-ase** também é utilizado para denominações mais específicas; por exemplo, a enzima que quebra lactose em galactose e glicose é denominada **lactase**.

Cofatores e coenzimas

Muitas enzimas são **proteínas simples**, isto é, constituídas apenas por cadeias polipeptídicas. Outras, entretanto, são **proteínas conjugadas**, constituídas por uma parte proteica (uma ou mais cadeias polipeptídicas), chamada de apoenzima, combinada a uma parte não proteica, denominada **cofator**. Para algumas enzimas, os cofatores são íons metálicos; a maioria dos íons que precisamos ingerir na dieta, entre eles os de cobre, de zinco e de manganês, atuam como cofatores de enzimas.

O cofator enzimático pode ser uma substância orgânica, nesse caso denominada **coenzima**. A maioria das vitaminas que nosso organismo precisa receber na dieta atua como coenzima ou como precursor de coenzimas. A apoenzima e o cofator atuam em conjunto, formando a holoenzima (do grego *holos*, total). Essa interação está sumarizada a seguir:



Fatores que afetam a atividade das enzimas

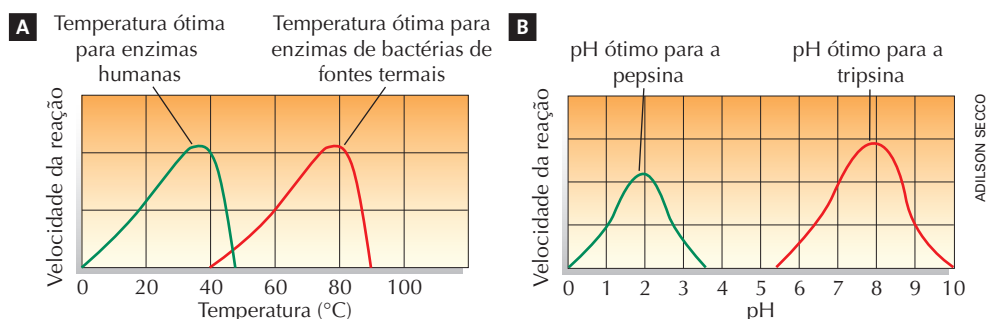
A temperatura é um fator importante na atividade das enzimas. Dentro de certos limites, a velocidade de uma reação enzimática aumenta proporcionalmente com a elevação da temperatura. Isso ocorre porque o aumento da temperatura causa aumento na movimentação das moléculas, que desse modo têm mais possibilidade de se chocar para reagir. Entretanto, se for ultrapassada certa temperatura limite, a agitação molecular torna-se tão intensa que ocorre desnaturação da enzima. Com isso, a atividade enzimática cessa, pois a alteração drástica da forma espacial impede que as moléculas da enzima se encaixem convenientemente ao substrato. A inativação de uma enzima pelo calor é irreversível, pois a proteína desnaturada não consegue readquirir sua conformação original.

Cada tipo de enzima atua melhor em uma faixa de temperatura característica (temperatura ótima), quando a velocidade da reação catalisada é máxima, sem desnaturar a enzima. A maioria das enzimas humanas tem sua temperatura ótima entre 35 °C e 40 °C, que corresponde à faixa de temperatura normal de nosso corpo. Bactérias que vivem em fontes de água quente têm enzimas cuja temperatura ótima situa-se ao redor de 70 °C, ou mais. (Fig. 3.21A)

Outro fator que afeta a atividade das enzimas é o grau de acidez do meio, ou pH (potencial hidrogeniônico), expresso em uma escala logarítmica que vai de 0 a 14. Esses valores de pH expressam a concentração relativa do íon de hidrogênio (H^+) em determinado meio. Como já foi mencionado anteriormente neste capítulo, o valor 7 representa um meio neutro, nem ácido nem básico; valores abaixo de 7 são progressivamente mais ácidos e os acima de 7 são progressivamente mais básicos (alcalinos). Por exemplo, uma solução de hidrogenocarbonato de sódio, também chamado bicarbonato de sódio (NaHCO_3), tem pH da ordem de 9, enquanto o vinagre tem pH em torno de 4. Isso quer dizer que, no vinagre, a concentração de íons H^+ é cerca de 100 mil vezes maior que a da solução de bicarbonato de sódio.

Cada enzima tem um pH ótimo de atuação, no qual sua atividade é máxima. Fora dessa faixa de pH, a enzima deixa de funcionar adequadamente. O pH ótimo para a maioria das enzimas celulares situa-se ao redor de 7, próximo ao neutro. A enzima pepsina, que atua em nosso estômago, funciona mais eficientemente em valores de pH fortemente ácidos, em torno de 2, condição em que a maioria das outras enzimas deixa de funcionar. A tripsina, por sua vez, enzima digestiva que atua no ambiente alcalino do intestino, tem pH ótimo situado em torno de 8. (Fig. 3.21B)

Figura 3.21
Curvas de atividade de diferentes enzimas em condições diversas de temperatura (gráfico A) e de grau de acidez (pH) (gráfico B). Note que cada enzima tem uma temperatura e um pH ótimos, em que sua atividade é máxima. (Baseado em Campbell, N. e cols., 1999.)



- 1 O conhecimento científico sobre enzimas e genes tem permitido o desenvolvimento de diagnósticos precisos e, em alguns casos, tratamento para doenças de origem genética. Um exemplo refere-se à **fenilcetonúria**, uma doença humana decorrente da incapacidade inata de uma pessoa produzir determinada enzima. Essa doença pode ser evitada quando diagnosticada no recém-nascido. Para isso basta uma gota de sangue, obtida por uma leve punção no pé da criança.
- 2 A pessoa portadora da condição genética responsável pela fenilcetonúria não produz a enzima que transforma o aminoácido fenilalanina em tirosina. Nessa situação, a fenilalanina tende a se acumular no corpo e pode causar danos às células cerebrais, principalmente na infância.
- 3 Os piores efeitos da fenilcetonúria são evitados se a doença é detectada prematuramente e se o portador passa a receber uma dieta que forneça apenas as quantidades mínimas de fenilalanina necessárias ao desenvolvimento. O conhecido “teste do pezinho”, realizado com uma gota de sangue retirada do pé dos recém-nascidos, destina-se justamente a detectar os portadores dessa deficiência antes que ela possa causar estragos ao sistema nervoso. Pessoas fenilcetonúricas devem evitar o excesso de proteínas na alimentação e o uso de adoçantes artificiais feitos à base de aspartame, que contém fenilalanina e ácido aspártico. (Fig. 3.22)

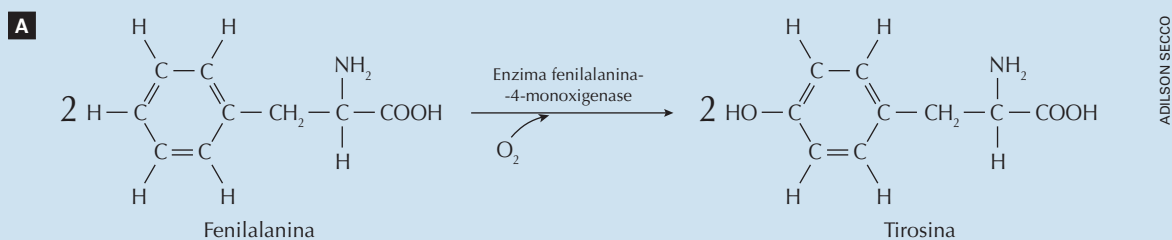


Figura 3.22 A. Reação catalisada pela enzima fenilalanina-4-monoxigenase, cuja ausência é a principal causa da fenilcetonúria, que afeta uma em cada 20 mil pessoas. **B.** Retirada de sangue do pé de um recém-nascido para o teste de fenilcetonúria e de outras doenças (teste do pezinho).

GUIA DE LEITURA

1. Leia apenas o título do quadro. Você já ouviu falar no “teste do pezinho”?
2. Leia os dois parágrafos iniciais do quadro e responda: a) que características e problemas apresenta uma pessoa fenilcetonúrica? b) por que se diz que essa condição é genética?
3. No terceiro e último parágrafo do quadro, comente-se a importância da detecção precoce da deficiência

enzimática responsável pela fenilcetonúria – o teste com o sangue do pé do recém-nascido. O controle da alimentação permite à pessoa fenilcetonúrica levar vida normal. Que tipos de alimentos devem ser evitados ou consumidos em pequena quantidade para impedir a manifestação da fenilcetonúria? Lembre-se de que a fenilalanina é um aminoácido e, portanto, faz parte da maioria das proteínas.

» Habilidades sugeridas

- ▶ Caracterizar vitamina (substância orgânica essencial) e reconhecer sua importância para nosso organismo.
- ▶ Estar informado sobre os principais tipos de vitaminas, suas fontes e consequências da carência vitamínica sobre o organismo (avitaminoses).

» Conceitos principais

- vitamina
- avitaminose

O que são vitaminas

Vitamina não é uma classe particular de substâncias, e sim a designação de qualquer substância orgânica que o organismo não consegue produzir e é necessária em pequena quantidade para seu bom funcionamento. A vitamina C, por exemplo, é o ácido ascórbico, essencial ao bom funcionamento do organismo humano e dos demais primatas (símios e macacos). Há outros animais que também necessitam de ácido ascórbico, mas conseguem produzi-lo em suas próprias células; por isso, para eles, o ácido ascórbico não é uma vitamina.

Os cientistas descobriram que muitas vitaminas atuam como cofatores em reações enzimáticas. Nesse caso, a deficiência de uma dada vitamina diminui a quantidade de enzima ativa (holoenzima) formada, alterando negativamente o metabolismo celular.

A importância da alimentação variada começou a ser reconhecida durante a época das grandes navegações a vela. A dieta da tripulação dos navios era pobre, constituída basicamente por biscoitos secos e carne salgada. Após algumas semanas no mar, os marinheiros tornavam-se fracos, desatentos, tinham fortes hemorragias nasais e muitos chegavam a morrer. Bastava, no entanto, que os doentes passassem alguns dias em terra firme, alimentando-se de frutas e verduras frescas, para que os sintomas rapidamente desaparecessem.

As fontes naturais das vitaminas são os alimentos. Atualmente as vitaminas também podem ser encontradas no comércio na forma purificada, sendo prescritas pelos médicos para eliminar as deficiências vitamínicas, geralmente causadas por uma dieta pobre ou desbalanceada.

Para que os alimentos não percam seu valor vitamínico é preciso ter certos cuidados, pois certas vitaminas são facilmente destruídas pelo calor ou pela exposição ao gás oxigênio (O_2) do ar. Uma regra geral para preservar ao máximo o valor vitamínico de verduras e legumes é consumi-los crus ou levemente cozidos em pequena quantidade de água. Vegetais para saladas e frutas só devem ser cortados no momento de ser servidos, para evitar a oxidação destrutiva de suas vitaminas pelo ar.

As vitaminas costumam ser classificadas em hidrossolúveis e lipossolúveis. A importância dessa classificação está relacionada ao modo como as vitaminas devem ser ingeridas e a seu armazenamento no organismo.

Vitaminas hidrossolúveis, assim chamadas por serem substâncias polares e dissolverem-se em água, são armazenadas em quantidades pequenas no corpo e devem ser ingeridas diariamente. **Vitaminas lipossolúveis**, assim chamadas por serem substâncias apolares e dissolverem-se em lipídios e em outros solventes orgânicos, são armazenadas no tecido adiposo e não precisam ser ingeridas diariamente.

As doenças resultantes da falta de vitaminas são denominadas **avitaminoses**. Veja as principais avitaminoses e seus sintomas na tabela a seguir. (Tab. 3.1)

Tabela 3.1 Vitaminas hidrossolúveis			
Vitamina	Principal uso no corpo	Sintomas de deficiência	Principais fontes
B ₁ (Tiamina)	Auxilia na oxidação dos carboidratos. Estimula o apetite. Mantém o tônus muscular e o bom funcionamento do sistema nervoso. Previne o beribéri.	Perda de apetite, fadiga muscular, nervosismo, beribéri.	Cereais na forma integral e pães, feijão, fígado, carne de porco, ovos, fermento de padaria, vegetais de folha.
B ₂ (Riboflavina)	Auxilia a oxidação dos alimentos. Essencial à respiração celular. Mantém a tonalidade saudável da pele. Atua na coordenação motora.	Ruptura da mucosa da boca, dos lábios, da língua e das bochechas.	Vegetais de folha (couve, repolho, espinafre etc.), carnes magras, ovos, fermento de padaria, fígado, leite.
B ₃ (Niacina ou ácido nicotínico)	Mantém o tônus nervoso e muscular e o bom funcionamento do sistema digestório. Previne a pelagra.	Inércia e falta de energia, nervosismo extremo, distúrbios digestivos, pelagra.	Levedo de cerveja, carnes magras, ovos, fígado, leite.
B ₅ (Ácido pantotênico)	É componente da coenzima A, participante de processos energéticos celulares.	Anemia, fadiga e dormência dos membros.	Carne, leite e seus derivados, verduras e cereais integrais.
B ₆ (Piridoxina)	Auxilia a oxidação dos alimentos. Mantém a pele saudável.	Doenças da pele, distúrbios nervosos, inércia e extrema apatia.	Levedo de cerveja, cereais integrais, fígado, carnes magras, leite.
B ₈ (Biotina)	Atua como coenzima em processos energéticos celulares, na síntese de ácidos graxos e das bases nitrogenadas púricas.	Inflamações na pele e distúrbios neuromusculares.	Carnes, legumes, verduras e bactérias da flora intestinal.
B ₉ (Ácido fólico)	Importante na síntese das bases nitrogenadas e, portanto, na síntese de DNA e multiplicação celular.	Anemia; esterilidade masculina; na gravidez predispõe a uma malformação do feto conhecida como espinha bífida.	Vegetais verdes, frutas, cereais integrais e bactérias da flora intestinal.
B ₁₂ (Cianocobalamina)	É essencial para a maturação das hemácias e para a síntese de nucleotídeos.	Anemia perniciosa; distúrbios nervosos.	Carne, ovos, leite e seus derivados.
C (Ácido ascórbico)	Mantém a integridade dos vasos sanguíneos e a saúde dos dentes. Previne infecções e o escorbuto.	Inércia e fadiga em adultos, insônia e nervosismo em crianças, sangramento das gengivas, dores nas juntas, dentes alterados, escorbuto.	Frutas cítricas (limão, lima, laranja), tomate, couve, repolho, outros vegetais de folha, pimentão.
Vitaminas lipossolúveis			
A (Retinol)	Necessária para o crescimento normal e para o bom funcionamento dos olhos, do nariz, da boca, dos ouvidos e dos pulmões. Previne resfriados e várias infecções. Evita a "cegueira noturna".	Cegueira noturna (xerofthalmia), "olhos secos" em crianças, cegueira total.	Vegetais amarelos (cenoura, abóbora, batata-doce, milho), pêssego, nectarina, abricó, gema de ovo, manteiga, fígado.
D* (Calciferol)	Atua no metabolismo do cálcio e do fósforo. Mantém os ossos e os dentes em bom estado. Previne o raquitismo.	Problemas nos dentes, ossos fracos, contribui para os sintomas da artrite, raquitismo.	Óleo de fígado de bacalhau, fígado, gema de ovo.
E (Tocoferol)	Promove a fertilidade. Previne o aborto. Atua no sistema nervoso involuntário, no sistema muscular e nos músculos involuntários.	Esterilidade masculina, aborto.	Óleo de germe de trigo, carnes magras, laticínios, alface, óleo de amendoim.
K (Filoquinona)	Atua na coagulação do sangue. Previne hemorragias.	Hemorragias.	Vegetais verdes, tomate, castanha.

* A vitamina D não é encontrada pronta na maioria dos alimentos; estes contêm, em geral, um precursor que se transforma em vitamina D quando exposto aos raios ultravioleta da radiação solar.
(Adaptado de Campbell, N. A. e cols., 1999.)



Ácidos nucleicos

Habilidade sugerida

► Conhecer os ácidos nucleicos quanto às suas características químicas principais (tipos de componentes, estrutura molecular etc.) e suas funções gerais nos seres vivos.

Conceitos principais

- ácido nucleico
- ácido desoxirribonucleico (DNA)
- ácido ribonucleico (RNA)
- base nitrogenada
- nucleotídeo

1 Tipos de ácidos nucleicos

Os **ácidos nucleicos** são assim chamados por seu caráter ácido e por terem sido originalmente descobertos no núcleo das células, no século XIX. A partir da década de 1940, os ácidos nucleicos passaram a ser detalhadamente estudados, pois descobriu-se que eles constituem os **genes**, responsáveis pela herança biológica. Somos parecidos com nossos pais porque recebemos, nos gametas que nos originaram, genes paternos e maternos, constituídos por ácido desoxirribonucleico.

Há dois tipos de ácido nucleico: o **ácido desoxirribonucleico**, conhecido pela sigla **DNA** (do inglês, *desoxirribonucleic acid*), e o **ácido ribonucleico**, conhecido pela sigla **RNA** (do inglês, *ribonucleic acid*). Esses nomes referem-se ao fato de o DNA e o RNA apresentarem, respectivamente, os monossacarídeos desoxirribose e ribose em suas moléculas.

2 Estrutura dos ácidos nucleicos

Os ácidos nucleicos são constituídos por três tipos de componentes: **glicídios** do grupo das pentoses (desoxirribose no DNA e ribose no RNA), **ácido fosfórico** e **bases nitrogenadas**. Dos cinco tipos de base nitrogenada presentes nos ácidos nucleicos, três ocorrem tanto no DNA quanto no RNA; são elas: **adenina (A)**, **citossina (C)** e **guanina (G)**. A base nitrogenada **timina (T)** ocorre exclusivamente no DNA, enquanto a base **uracila (U)** está presente apenas no RNA. As bases adenina e guanina são constituídas por dois anéis de carbono e nitrogênio, sendo denominadas bases púricas, ou purinas. Citossina, timina e uracila apresentam apenas um anel de carbono e nitrogênio, sendo denominadas bases pirimídicas, ou pirimidinas. (Fig. 3.23)

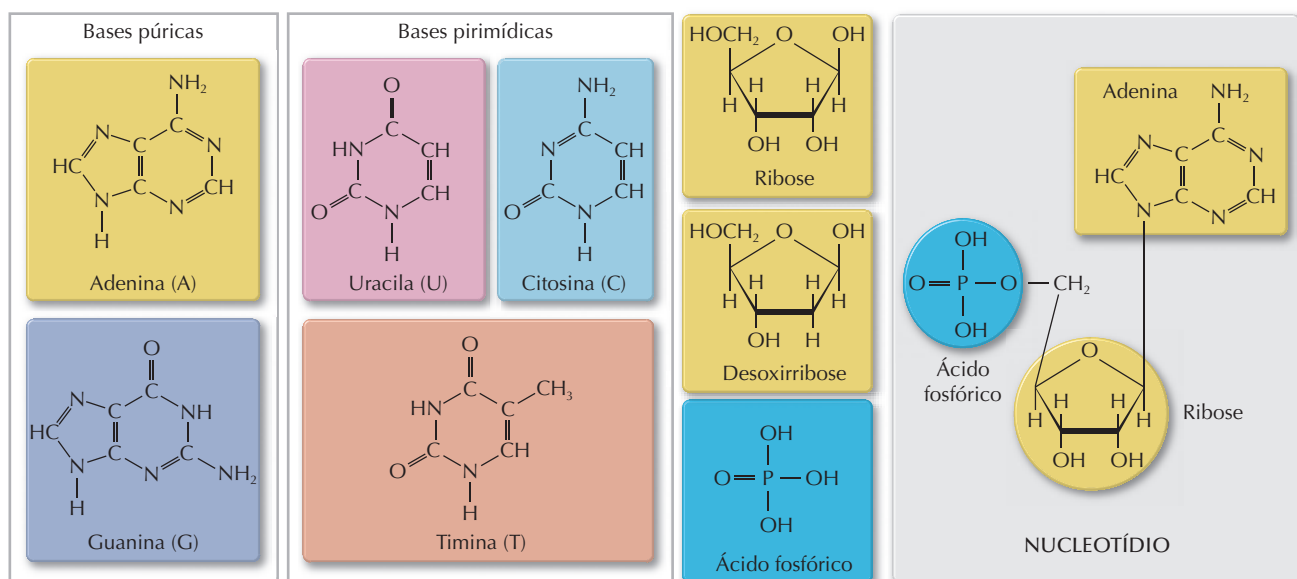


Figura 3.23 Componentes dos ácidos nucleicos. O açúcar desoxirribose e a base nitrogenada timina ocorrem exclusivamente no DNA. O açúcar ribose e a base uracila, por sua vez, são exclusivos do RNA. Os demais componentes são comuns ao DNA e ao RNA.

Os três componentes dos ácidos nucleicos organizam-se em um trio molecular denominado **nucleotídio**. Este é constituído por uma pentose, unida a uma molécula de ácido fosfórico e a uma base nitrogenada. Tanto o DNA como o RNA são constituídos por nucleotídios ligados em sequência em longas cadeias polinucleotídicas. A união entre os nucleotídios dá-se entre o açúcar de um deles e o fosfato do outro e é denominada ligação fosfodiéster.

As moléculas de DNA são constituídas por duas cadeias polinucleotídicas, orientadas em sentido inverso uma em relação à outra (antiparalelas) e enroladas uma sobre a outra, lembrando uma comprida escada helicoidal. As duas cadeias mantêm-se unidas entre si por meio de pontes de hidrogênio entre pares de bases específicas: a adenina emparelha-se com a timina, por meio de duas pontes de hidrogênio ($A = T$), e a guanina emparelha-se com a citosina, por meio de três pontes de hidrogênio ($G \equiv C$). (Fig. 3.24)

As moléculas de DNA são geralmente muito longas, com até milhões de nucleotídios unidos em sequência. No núcleo de nossas células, constituindo nossos cromossomos, existem moléculas de DNA que atingem mais de 10 centímetros de comprimento, embora sejam finíssimas, com cerca de apenas 0,000002 milímetros, ou 2 nanômetros (nm), de diâmetro.

As moléculas de RNA são geralmente formadas por uma cadeia única, que pode se enrolar sobre si mesma pelo emparelhamento entre bases complementares na mesma cadeia polinucleotídica. O estudo dos ácidos nucleicos será retomado com maiores detalhes nos capítulos 7 e 12 deste volume.

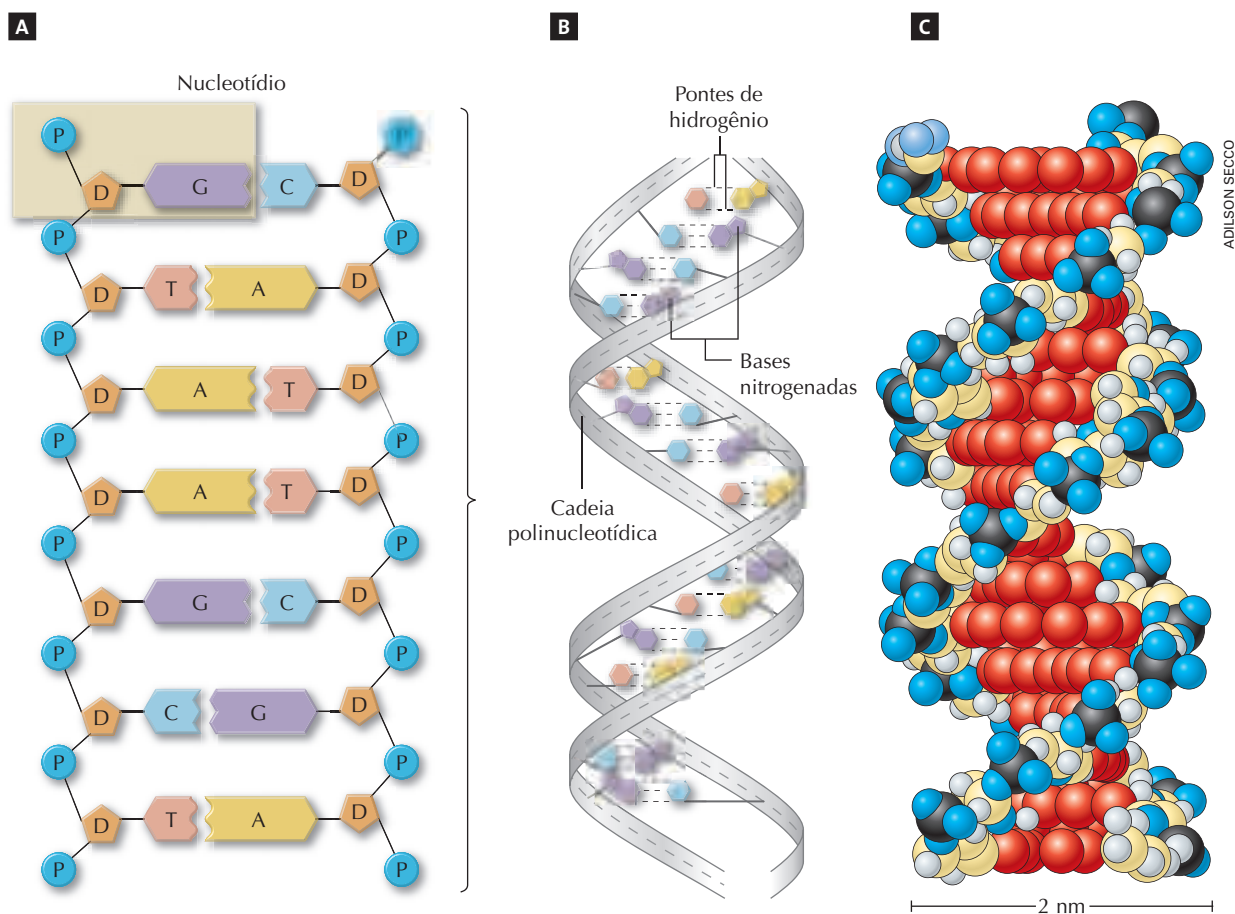


Figura 3.24 Diferentes formas de representar a molécula de DNA. **A.** Representação plana, mostrando as duas cadeias unidas por meio de suas bases nitrogenadas, em que uma purina se emparelha a uma pirimidina. Em destaque, um nucleotídio. **B.** Representação da dupla-hélice no espaço, mostrando as pontes de hidrogênio entre as bases nitrogenadas. **C.** Representação dos átomos por esferas e sua disposição espacial. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)



QUESTÕES PARA PENSAR E DISCUTIR

Questões objetivas

- Os tipos de átomo que se combinam para formar a maioria dos compostos químicos presentes na matéria viva são
 - carbono, hidrogênio, oxigênio e cloro.
 - carbono, hidrogênio, fósforo e enxofre.
 - carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio.
 - carbono, hidrogênio, cloro e sódio.

- As substâncias orgânicas de um ser vivo são, em ordem decrescente de abundância,
 - ácidos nucleicos > proteínas > glicídios > lipídios.
 - lipídios > glicídios > proteínas > ácidos nucleicos.
 - proteínas > glicídios > ácidos nucleicos > lipídios.
 - proteínas > lipídios > glicídios > ácidos nucleicos.

Considerar as alternativas a seguir para responder às questões de 3 a 5.

- Ponte de hidrogênio.
 - Reação de hidrólise.
 - Síntese por desidratação.
- Quando em estado líquido e sólido, que tipo de interação há entre as moléculas de água?
 - Qual é o nome da reação química em que ocorre união de moléculas reagentes com formação de água como um dos produtos finais?
 - Qual é o nome da reação química em que ocorre quebra de moléculas com participação da água como um dos reagentes?
 - A hidrólise de determinada molécula produziu glicerol e ácidos graxos; isso indica que a molécula hidrolisada era
 - uma proteína.
 - um lipídio.
 - um carboidrato.
 - um ácido nucleico.

- Para degradarmos uma proteína a seus aminoácidos constituintes precisamos quebrar
 - ligações peptídicas, o que consome água como reagente.
 - ligações peptídicas, o que consome gás oxigênio como reagente.
 - pontes de hidrogênio, o que consome água como reagente.
 - pontes de hidrogênio, o que não consome reagentes.
- Quando uma proteína se desnatura, ela
 - tem sua estrutura primária modificada.
 - tem sua estrutura espacial modificada.
 - sofre hidrólise.
 - tem suas ligações peptídicas quebradas.

Responda às questões de 9 a 11 considerando um dos termos a seguir.

- Dissolução.
 - Hidrólise.
 - Ionização.
 - Síntese por desidratação.
- A produção de um dissacarídeo ocorre pela união de dois monossacarídeos com perda de uma molécula de água. Qual é o nome desse processo?
 - A produção de um ácido nucleico ocorre pela união de nucleotídeos, com perda de uma molécula de água por ligação formada. Qual é o nome desse processo?
 - A reação de degradação de uma molécula de amido produz moléculas de glicose, consumindo moléculas de água. Qual é o nome desse processo?
 - Qual a alternativa correta sobre os ácidos nucleicos (I e II) cujos resultados de análise química estão mostrados na tabela a seguir?

	Ácidos nucleicos	
	I	II
Tipo de açúcar	desoxirribose	ribose
Tipo de base nitrogenada	adenina timina citosina guanina	adenina uracila citosina guanina

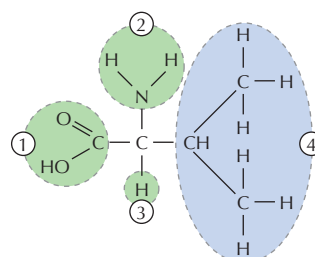
- Trata-se de DNA em ambos os casos.
- Trata-se de RNA em ambos os casos.
- O ácido nucleico I é DNA e o II, RNA.
- O ácido nucleico I é RNA e o II, DNA.

Questões discursivas

- Observe as fórmulas moleculares de dois glicídios, representadas a seguir; um deles é um monossacarídeo, e o outro, um dissacarídeo.



- O que permite caracterizar essas duas substâncias como glicídios?
 - Qual deles é o monossacarídeo? Por quê?
 - Quanto ao número de carbonos, como eram as moléculas que originaram o dissacarídeo?
- Observe a fórmula do aminoácido valina, encontrado nas proteínas dos seres vivos. Note que há partes da molécula destacadas e numeradas.



Sobre esses destaques responda:

- O que representam os números 1, 2, 3 e 4?
 - Qual desses grupos destacados varia de acordo com o aminoácido?
15. Os dados a seguir mostram os resultados de análises químicas a que foram submetidas quatro amostras de ácidos nucleicos (I a IV). Determine, para cada amostra, se o ácido nucleico é DNA ou RNA, justificando a resposta.

Amostra	Resultado da análise química
I	Presença de ribose
II	Presença de timina
III	Presença de uracila
IV	Presença de desoxirribose

16. A explicação para a especificidade de uma enzima por seu substrato recebe a denominação de modelo chave-fechadura. Redija um breve texto argumentando a favor dessa denominação.

VESTIBULARES PELO BRASIL

Questões objetivas

- (UFPA) Nos últimos anos, o açaí vem se destacando no cenário nacional como uma bebida energética, muito consumida por esportistas, principalmente halterofilistas, que consomem grandes quantidades de calorias durante os treinamentos. Seu alto valor calórico é devido a elevados teores de lipídios. Além da função energética, os lipídios são importantes por serem
 - substâncias inorgânicas que participam de reações químicas mediadas por enzimas.
 - moléculas orgânicas constituintes das membranas celulares e atuarem como hormônios.
 - peptídios constituintes dos ácidos nucleicos.
 - oligossacarídeos indispensáveis à formação da membrana plasmática.
 - compostos estruturais da parede celular vegetal.
- (Cesupa-PA) As vitaminas são substâncias orgânicas essenciais ao metabolismo humano e precisam ser obtidas a partir dos alimentos ingeridos. A vitamina D, obtida do óleo de fígado, fígado e gema de ovo, atua no(a)
 - coagulação do sangue, evitando hemorragias.
 - metabolismo do cálcio e do fósforo, prevenindo o raquitismo.
 - respiração celular, garantindo a tonalidade saudável da pele.
 - sistema nervoso involuntário, evitando o escorbuto.

- (Unifor-CE) Considere as frases abaixo, referentes às enzimas.
 - Aumentam a velocidade das reações.
 - São específicas, cada uma atuando sobre um determinado substrato.
 - Apresentam alteração em sua composição química após a reação.
 - Participam somente uma vez de um certo tipo de reação.

Somente são corretas

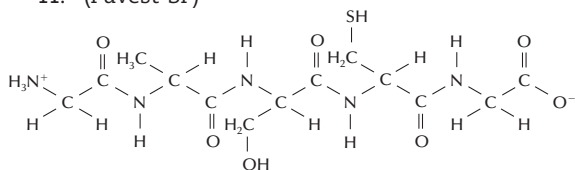
- I e II.
 - I e III.
 - II e III.
 - II e IV.
 - III e IV.
4. (UFMA) As enzimas biocatalisadoras da indução de reações químicas reconhecem seus substratos através da
 - temperatura do meio.
 - forma tridimensional das moléculas.
 - energia de ativação.
 - concentração de minerais.
 - reversibilidade da reação.
5. (Uece) Com relação à composição das moléculas, o RNA e o DNA diferem entre si quanto ao tipo de
 - açúcar apenas.
 - base nitrogenada e de açúcar apenas.
 - base nitrogenada e de fosfato apenas.
 - base nitrogenada, açúcar e de fosfato.
6. (UFRN) Embora seja visto como um vilão, o colesterol é muito importante para o organismo humano porque ele é
 - precursor da síntese de testosterona e progesterona.
 - agente oxidante dos carboidratos.
 - responsável pela resistência de cartilagens e tendões.
 - cofator das reações biológicas.
7. (UEMS) Qual o composto biológico que tem como função facilitar e aumentar a velocidade das reações envolvendo biomoléculas orgânicas nas células?
 - esteroides
 - carboidratos
 - polissacarídeos
 - lipídios
 - proteína com função enzimática
8. (UEMS) Das moléculas constituintes dos seres vivos, quais são as responsáveis pela transmissão dos caracteres hereditários?
 - carboidratos
 - proteínas
 - ácidos nucleicos
 - ácidos graxos
 - glicoproteínas



9. (Unigranrio-RJ) São os compostos orgânicos mais abundantes da matéria viva. Menção feita
- à água.
 - aos sais minerais.
 - às proteínas.
 - aos carboidratos.

10. (Uerj) O papel comum é formado, basicamente, pelo polissacarídeo mais abundante no planeta. Esse carboidrato, nas células, tem a seguinte função:
- Revestir as organelas.
 - Formar a membrana plasmática.
 - Compor a estrutura da parede celular.
 - Acumular reserva energética no hialoplasma.

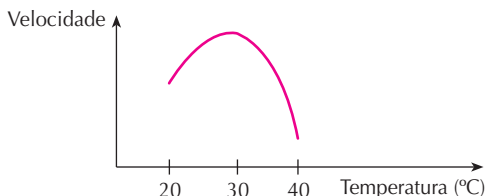
11. (Fuvest-SP)



A hidrólise de um peptídeo rompe a ligação peptídica, originando aminoácidos. Quantos aminoácidos diferentes se formam na hidrólise total do peptídeo representado acima?

- 2
 - 3
 - 4
 - 5
 - 6
12. (Fuvest-SP) Leia o texto a seguir, escrito por Jacob Berzelius em 1828. "Existem razões para supor que, nos animais e nas plantas, ocorrem milhares de processos catalíticos nos líquidos do corpo e nos tecidos. Tudo indica que, no futuro, descobriremos que a capacidade de os organismos vivos produzirem os mais variados tipos de compostos químicos reside no poder catalítico de seus tecidos." A previsão de Berzelius estava correta, e hoje sabemos que o "poder catalítico" mencionado no texto deve-se
- aos ácidos nucleicos.
 - aos carboidratos.
 - aos lipídios.
 - às proteínas.
 - às vitaminas.

13. (Mackenzie-SP) A velocidade de um processo celular foi medida durante 10 horas. Nesse período, a temperatura foi aumentada gradativamente, passando de 20 °C para 40 °C. O resultado foi expresso no gráfico abaixo.



A esse respeito, são feitas as seguintes afirmações:

- A temperatura de aproximadamente 30 °C é ótima para as enzimas envolvidas nesse processo.
- Na temperatura de 40 °C, pode ter havido desnaturação completa de todas as enzimas envolvidas.

- III. Se a célula fosse submetida a uma temperatura menor do que 20 °C, ela certamente morreria, devido à falta de atividade.

Determine:

- Se somente as afirmativas I e II forem corretas.
 - Se somente as afirmativas II e III forem corretas.
 - Se todas as afirmativas forem corretas.
 - Se somente as afirmativas I e III forem corretas.
 - Se somente a afirmativa II for correta.
14. (Unigranrio-RJ) Se uma criança sofre de raquitismo (crescimento retardado, ossos moles, dentição defeituosa e apresenta inadequada absorção de cálcio e fósforo em seu organismo), que tipo de vitamina ela deve ingerir mediante uso do leite e seus derivados, gema de ovo, fígado de vaca ou óleo de fígado de bacalhau?
- Vitamina K
 - Vitamina C
 - Vitamina PP
 - Vitamina D

15. (PUC-Minas) As vitaminas são compostos orgânicos que funcionam como coenzimas, ou seja, atuam juntamente com as enzimas envolvidas no metabolismo celular. A deficiência de vitaminas provoca enfermidades chamadas de doenças de carências.

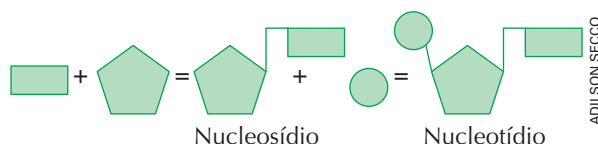
Sejam dados os seguintes sintomas de carências:

- córnea ressecada
- raquitismo na infância
- deficiência na coagulação sanguínea
- anemia perniciosa

Os sintomas carenciais enumerados acima estão relacionados, respectivamente, com a deficiência das seguintes vitaminas:

- K, E, B₂ e B₁₂.
 - B₁, D, C e E.
 - A, D, K e B₁₂.
 - A, E, K e C.
16. (Udesc) Determine a alternativa correta, em relação aos componentes químicos da célula.
- Os glicídios, a água, os sais minerais, os lipídios e as proteínas são componentes orgânicos.
 - As proteínas, os ácidos nucleicos, os lipídios e os glicídios são componentes orgânicos.
 - Os glicídios, os sais minerais, os lipídios e as proteínas são componentes orgânicos.
 - A água, os sais minerais e os glicídios são componentes inorgânicos.
 - A água, os sais minerais, os lipídios e as proteínas são componentes inorgânicos.

17. (PUC-RS) Responder à questão com base na representação gráfica da formação do nucleotídeo e nas informações a seguir.

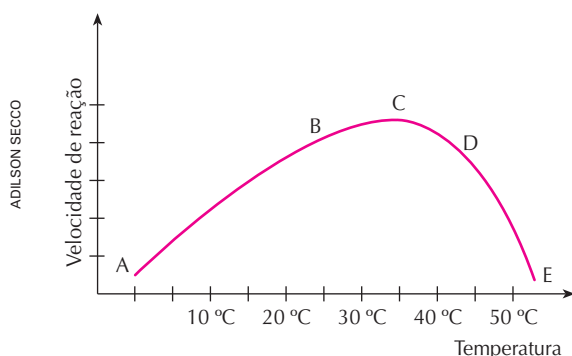


Os ácidos nucleicos (DNA e RNA) são compostos de monômeros chamados nucleotídios, os quais são formados por subunidades representadas por um retângulo, um pentágono e um círculo.

As formas geométricas citadas no texto acima representam, respectivamente, base ■, ■ e grupo ■.

- | | | |
|----------------|---------------|---------|
| a) pirimídica | ribose | fosfato |
| b) nitrogenada | desoxirribose | nitrato |
| c) púrica | ribose | fosfato |
| d) pirimídica | desoxirribose | nitrato |
| e) nitrogenada | pentose | fosfato |

18. (Unicuritiba-PR – Adaptado) Os organismos, para se manterem vivos, precisam realizar diversas reações químicas no interior de suas células. Essas reações ocorrem rapidamente devido à ação das enzimas. Observe o gráfico abaixo e julgue as afirmativas a seguir em verdadeiras ou falsas.



- a) De acordo com algumas condições celulares, as enzimas podem sofrer variações em sua velocidade de reação. Temperatura e pH podem estar entre essas condições.
- b) O gráfico mostra como uma febre acima de 40 °C pode comprometer o funcionamento celular e trazer risco de morte para o indivíduo.
- c) Entre 20 e 45 °C as velocidades da reação são equivalentes.
- d) O melhor rendimento da atividade enzimática ocorre a 35 °C.
- e) Acima de 50 °C, a reação pode aumentar sua velocidade.

19. (Unama-PA)

O ritmo acelerado da vida, o estresse e a busca incessante para manter um status social fazem com que os indivíduos trabalhem muito, se alimentem mal e não façam exercícios, o que cria uma condição propícia para a ocorrência de doenças cardíacas. [...] Além da herança genética, característica predominante em muitos casos de infarto, obesidade, diabetes, tabagismo, hipertensão arterial, **colesterol** elevado, excesso de trabalho, falta de exercícios físicos e péssimos hábitos alimentares contribuem incisivamente para a incidência de doenças coronarianas.

(Adaptado do jornal *Diário do Pará*, Belém, 9 set. 2007.)

Sobre o composto químico, em destaque, no texto podemos afirmar:

- É encontrado em membranas de células animais.
- É encontrado em membranas de células vegetais.
- É provocado pelo aumento da taxa de glicose no sangue.
- Constitui matéria-prima para a produção de hormônios sexuais.

As afirmativas corretas são:

- | | |
|-------------------|---------------------|
| a) I e IV apenas. | c) II e III apenas. |
| b) I e II apenas. | d) I, II, III, IV. |

20. (Uece) Sabe-se que o carboidrato é o principal fator a contribuir para a obesidade, por entrar mais diretamente na via glicolítica, desviando-se para a produção de gordura, se ingerido em excesso. Uma refeição composta de bolacha (amido processado industrialmente) e vitamina de sapoti (sapoti, rico em frutose), leite (rico em lactose) e açúcar (sacarose processada industrialmente) pode contribuir para o incremento da obesidade, por ser, conforme a descrição acima, visivelmente rica em
- lipídios.
 - proteínas.
 - vitaminas.
 - glicídios.

Questões discursivas

21. (UEG-GO) Em 1747, o médico escocês James Lind publicou um tratado no qual esclareceu a prevenção do escorbuto. Sobre esse tema, responda ao que se pede.
- Que vitamina hidrossolúvel encontra-se deficiente nas pessoas com escorbuto?
 - Qual a função das vitaminas nas reações enzimáticas?
22. (Vunesp) Os açúcares complexos, resultantes da união de muitos monossacarídios, são denominados polissacarídios.
- Cite dois polissacarídios de reserva energética, sendo um de origem animal e outro de origem vegetal.
 - Indique um órgão animal e um órgão vegetal, onde cada um desses açúcares pode ser encontrado.
23. (Unicamp-SP) Os lipídios têm papel importante na estocagem de energia, estrutura de membranas celulares, visão, controle hormonal, entre outros. São exemplos de lipídios: fosfolipídios, esteroides e carotenoides.
- Como o organismo humano obtém os carotenoides? Que relação têm com a visão?
 - A quais das funções citadas no texto os esteroides estão relacionados? Cite um esteroide importante para uma dessas funções.
 - Cite um local de estocagem de lipídios em animais e um em vegetais.

Capítulo

4

A descoberta da célula viva

A invenção do microscópio mostrou que há grande semelhança entre os organismos, quando observados no nível microscópico: todos são constituídos por células, minúsculos compartimentos onde ocorrem as reações fundamentais à vida.

Neste capítulo apresentamos uma breve história da descoberta das células e do desenvolvimento de seu estudo, a Citologia.

▶ 4.1 O mundo microscópico

A invenção do microscópio possibilitou a descoberta das células e inaugurou um novo campo de investigação científica, a Citologia. Para compreender plenamente o fenômeno vida, é preciso conhecer as células.

▶ 4.2 A célula observada ao microscópio óptico

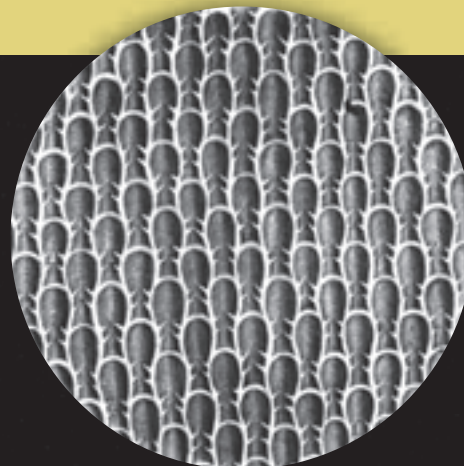
A invenção e o aperfeiçoamento do microscópio óptico, aliados ao desenvolvimento de técnicas de estudo como fixação, corte e coloração, possibilitaram conhecer a estrutura básica de células animais e vegetais.

▶ 4.3 A célula observada ao microscópio eletrônico

Os microscópios eletrônicos possibilitaram estudos altamente detalhados da estrutura interna das células e revolucionaram a Citologia em meados do século XX.

▶ 4.4 Outros métodos para o estudo da célula

A Citologia desenvolveu-se de forma espetacular não apenas por avanços da microscopia óptica e eletrônica, mas também pelo desenvolvimento de métodos de análise bioquímica das partes celulares.



Desenho de células de uma alga marinha feito por Hooke, em 1665, com base em suas observações ao microscópio.



Desenho de fungos crescendo sobre uma folha de roseira feito pelo microscopista pioneiro Robert Hooke (1635-1703) e publicado no livro *Micrographia*.

FOTOS: BIOPHOTO ASSOCIATES/PHOTORESEARCHERS/LATINSTOCK - SCIENCE MUSEUM, LONDON

O mundo microscópico

1 Microscópio simples e microscópio composto

Há menos de 400 anos, um vasto mundo novo foi descoberto pela humanidade: o mundo microscópico. Em vez de chegar a ele a bordo de caravelas, os pesquisadores pioneiros foram transportados pelas lentes de seus rudimentares microscópios. Hoje, os sucessores daqueles primeiros microscopistas utilizam aparelhos altamente sofisticados, com os quais conseguem visualizar até mesmo a imagem de átomos. A invenção do microscópio possibilitou a descoberta das células e inaugurou um novo campo de investigação científica, a **Citologia** (do grego *kytos*, célula, e *logos*, estudo), atualmente mais conhecido como **Biologia Celular**.

Acredita-se que o primeiro microscópio tenha sido construído em 1591 por Zacharias Janssen e seu pai, Hans Janssen, dois holandeses fabricantes de óculos. No entanto, foi o holandês Antonie van Leeuwenhoek (1632-1723) o primeiro estudioso a empregar um microscópio na investigação da natureza, registrando cuidadosamente suas observações. Leeuwenhoek aprendeu técnicas ópticas e construiu microscópios de uma só lente, com os quais observou água estagnada, sangue e esperma, descobrindo nesses materiais, respectivamente, microrganismos, hemácias (células vermelhas do sangue) e espermatozoides. O microscópio de Leeuwenhoek é chamado de **microscópio simples**, por ter apenas uma lente. (Fig. 4.1)

Estimulados pelas descobertas de Leeuwenhoek, cientistas ingleses encarregaram o físico Robert Hooke (1635-1703) de construir um microscópio. Hooke desenvolveu então um modelo de microscópio dotado de duas lentes ajustadas a um tubo de metal. Por ter dois sistemas de lentes, esse aparelho ficou conhecido como **microscópio composto**.

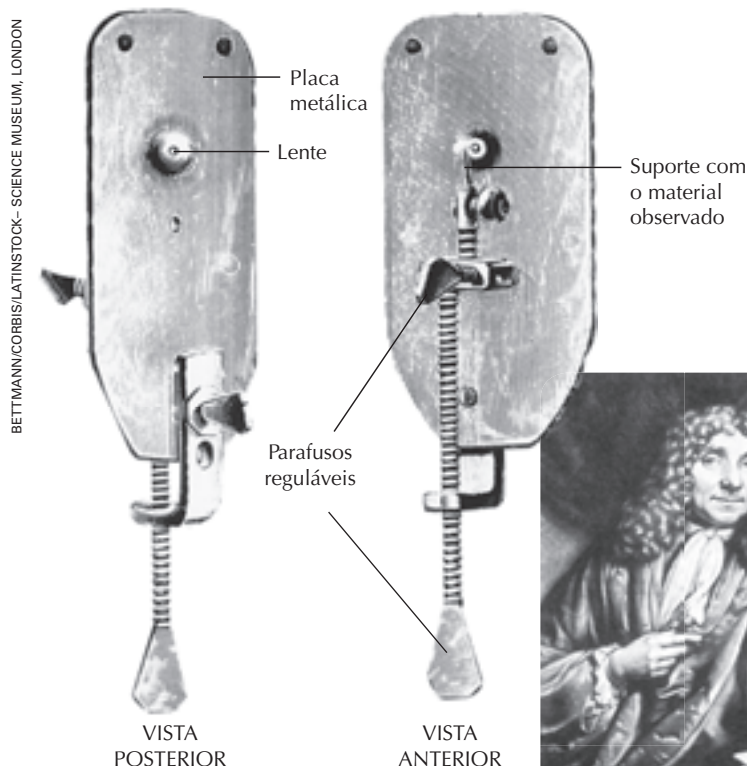
» Habilidades sugeridas

- Reconhecer a existência de uma realidade invisível aos olhos – o mundo microscópico – que pode ser investigado cientificamente e incorporado às nossas visões e explicações do mundo.
- Conhecer alguns fatos históricos sobre a teoria celular e compreender sua importância como unificadora dos conhecimentos de Biologia.
- Reconhecer que os vírus não são constituídos de células (são acelulares) e compreender por que isso não enfraquece a teoria celular nem se opõe a ela.

» Conceitos principais

- Citologia
- microscópio simples
- microscópio composto
 - célula
 - teoria celular
 - mitose
 - vírus

Figura 4.1 Os microscópios de Leeuwenhoek consistiam em uma pequena lente de vidro inserida em uma placa de metal, a qual estava conectada a parafusos reguláveis com suporte para o material observado. O observador mantinha a lente próxima ao olho, de modo a poder examinar através dela objetos mantidos na ponta do suporte. No detalhe, retrato de Antonie van Leeuwenhoek, de 1695.



2 Origem do termo “célula”

Em 8 de abril de 1663, Robert Hooke apresentou seu microscópio aos cientistas londrinos; o material escolhido para observação microscópica foi uma planta de musgo. Em novo encontro, na semana seguinte, o físico inglês mostrou aos cientistas finas fatias de cortiça, material cuja baixa densidade deve-se a sua porosidade, no nível microscópico. Ele comparou as cavidades microscópicas da cortiça às celas (pequenos quartos) de um convento, denominando-as, em inglês, *cells*. O termo em português, **célula**, deriva do latim *cellula*, diminutivo de *cella*, que significa pequeno compartimento.

Hooke continuou seus estudos microscópicos e obteve material suficiente para produzir um alentado livro sobre o assunto, intitulado *Micrographia*, publicado em 1665. Ao observar partes vivas de plantas, ele e outros pesquisadores notaram a presença de compartimentos semelhantes aos da cortiça, com a diferença de que o espaço interno das células vivas era preenchido por um material gelatinoso. Nos anos seguintes, o termo “célula” passou a denominar o conteúdo completo dessas “caixinhas” microscópicas que formam o corpo das plantas. (Fig. 4.2)

As observações microscópicas entenderam-se a todos os seres vivos e mostraram que os animais também eram constituídos por bolsas microscópicas de aspecto gelatinoso, cujo conteúdo parecia corresponder ao das caixinhas microscópicas presentes nas plantas; assim, essas bolsas também foram chamadas de células.



Figura 4.2 Réplica do microscópio composto de Hooke e imagem da capa do livro *Micrographia*, no qual Hooke descreve suas observações microscópicas. Esse livro traz o célebre desenho das fatias de cortiça (em detalhe, no círculo), cujas cavidades foram denominadas células.

3 Teoria celular

A microscopia entusiasmou os pesquisadores e desenvolveu-se rapidamente. Baseado em estudos sobre muitos tipos de plantas e de animais, os cientistas alemães Mathias Schleiden (1804-1881) e Theodor Schwann (1810-1882) lançaram a ideia de que todos os seres vivos são formados por células. Essa foi a base da **teoria celular**, que se desenvolveu nos anos seguintes.

Schwann e Schleiden publicaram essas ideias, independentemente, em 1838 e 1839, respectivamente. (Fig. 4.3)

DESENHOS DE THEODOR SCHWANN - SCIENCE MUSEUM, LONDON

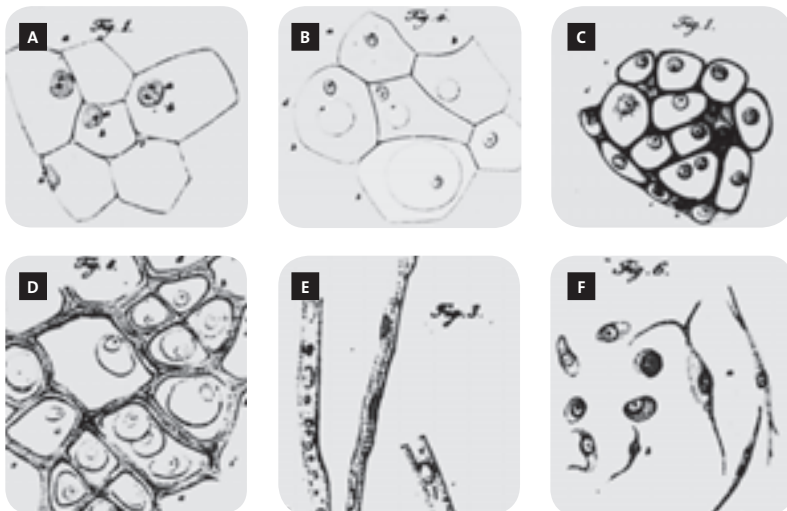


Figura 4.3 Desenhos de células publicados em 1834 por Theodor Schwann; ele foi um dos primeiros a afirmar que todos os seres vivos são constituídos por células. Os desenhos representam células de: **A.** Cebola. **B.** Notocorda de peixe. **C.** Cartilagem de sapo. **D.** Cartilagem de girino. **E.** Músculos de feto de porco. **F.** Células de embrião de porco.

Importantes biólogos da época, como o fisiologista francês Claude Bernard (1813-1878) e o patologista alemão Rudolph Virchow (1821-1902), apoiaram desde o início as ideias de Schleiden e Schwann, o que facilitou sua aceitação pela comunidade científica. Convencidos de que a célula era o constituinte fundamental de todos os seres vivos, os biólogos passaram a imaginar como elas surgiam.

Um dos defensores de que uma célula somente podia originar-se de uma célula preexistente era Rudolf Virchow, que, em 1855, sintetizou seu pensamento em uma frase em latim, a qual, depois, se tornou célebre: "*Omnis cellula ex cellula*", cujo significado é: "toda célula se origina de outra célula".

Em 1878, o biólogo alemão Walther Flemming (1843-1905) descreveu detalhadamente o processo de divisão de uma célula em duas, que ele denominou **mitose**. (Fig. 4.4)

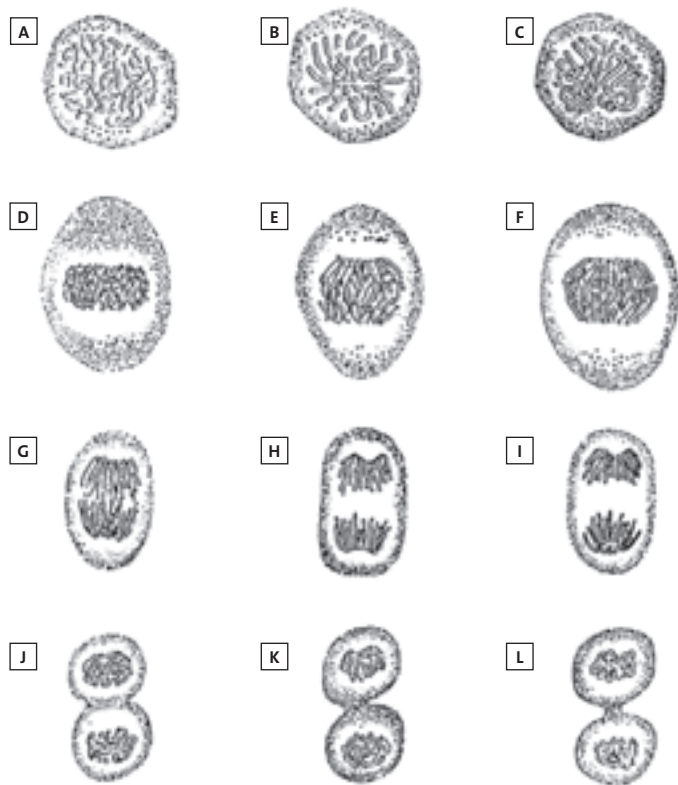


Figura 4.4 Desenhos de células vivas em divisão feitos por Flemming e publicados em 1879; a sequência mostra as etapas da divisão de uma célula em duas, processo denominado mitose.

A proposição inicial de Schleiden e Schwann (todos os seres vivos são formados por células), complementada por novas descobertas e conclusões, passou a constituir a teoria celular, que se apoia em três premissas fundamentais:

1. Todos os seres vivos são formados por células e por estruturas que elas produzem; as células são, portanto, as unidades morfológicas dos seres vivos.
2. As atividades essenciais que caracterizam a vida ocorrem no interior das células; estas são, portanto, as unidades funcionais, ou fisiológicas, dos seres vivos.
3. Novas células surgem apenas pela divisão de células preexistentes, por meio da divisão celular; a continuidade da vida depende, portanto, da reprodução celular.

A teoria celular é uma das mais importantes generalizações da Biologia. Ela estabelece que, apesar das diferenças quanto à forma e à função, todos os seres vivos têm em comum o fato de serem constituídos por células. Para compreendermos plenamente o fenômeno da vida, portanto, precisamos conhecer as células.

As pesquisas mostraram que os **vírus** não apresentam células em sua constituição, isto é, são **acelulares**. Será que essas descobertas invalidam ou enfraquecem a teoria celular, segundo a qual todos os seres vivos são constituídos por pelo menos uma célula?

Essa é uma discussão interessante, uma vez que, apesar de não serem formados por células, todos os vírus precisam necessariamente invadir células vivas para produzir novos vírus. Em outras palavras, eles são **parasitas intracelulares obrigatórios**; se não encontram células vivas nas quais possam se reproduzir, os vírus não realizam nenhuma atividade vital. Isso confirma que as atividades essenciais à vida ocorrem somente no interior de células vivas e que estas são, de fato, as unidades básicas dos seres vivos.

A célula observada ao microscópio óptico

Habilidades sugeridas

► Conhecer os princípios básicos de funcionamento do microscópio óptico (fotônico) e estar informado sobre seu aumento, resolução e possibilidade ou não de realizar observações vitais.

► Conhecer os fundamentos das principais técnicas de preparação de materiais biológicos para observação ao microscópio óptico (técnicas citológicas): observação vital, fixação, coloração, inclusão, corte e esmagamento.

► Conhecer as unidades de medida utilizadas em microscopia (micrometro, nanometro e angstrom), comparando-as entre si e com o metro.

Conceitos principais

- citoplasma
- membrana plasmática
- núcleo celular
- microscópio óptico
- micrometro (μm)
- nanometro (nm)
- poder de resolução
- observação vital
- fixação
- corante citológico
- técnica de esfregaço
- técnica de esmagamento
- técnica de inclusão
- micrótomo

1 Partes fundamentais da célula

Os primeiros citologistas – como são chamados os cientistas que estudam as células – notaram que elas eram preenchidas por um líquido viscoso, que foi denominado **citoplasma** (do grego *kytos*, célula, e *plasma*, líquido). Nas células vegetais, sempre se observava um envoltório bem definido, a parede celular, inexistente nas células animais. Era de esperar, porém, que as células animais também tivessem algum tipo de película envolvente, que contém o citoplasma e o impede de se misturar a líquidos do meio externo. Por isso, mesmo sem visualizar nenhum envoltório, os pioneiros citologistas deduziram sua existência e o denominaram **membrana plasmática**.

O microscópio eletrônico confirmou que tanto células animais quanto vegetais têm uma finíssima membrana envolvendo o citoplasma. Células vegetais, além disso, apresentam uma parede celular relativamente espessa situada externamente à membrana plasmática, como se fosse uma caixa protetora. Foram exatamente as paredes celulares da cortiça, um tecido vegetal morto, cujas células morreram e desapareceram, que Hooke analisou em suas observações pioneiras.

Os primeiros citologistas já haviam percebido que o citoplasma das células de animais e de plantas geralmente apresenta uma estrutura esférica ou ovoide. Em 1833, o pesquisador escocês Robert Brown (1773-1858) lançou a hipótese de que essa estrutura era um componente importante e fundamental da célula. Ele a denominou **núcleo**, termo derivado da palavra grega *nux*, que significa semente, por considerar que devia ser tão essencial para a célula quanto a semente é para o fruto. Desde então, os biólogos passaram a admitir que todas as células têm três partes fundamentais: membrana plasmática, citoplasma e núcleo. (Fig. 4.5)

Com o desenvolvimento de novas técnicas microscópicas, descobriu-se que o citoplasma contém diversas estruturas, além do núcleo. Descobriu-se, também, que as células de bactérias e arqueas não têm núcleo e são estruturalmente mais simples que as células de todos os outros seres vivos. Os detalhes desses tipos de células serão estudados mais adiante.

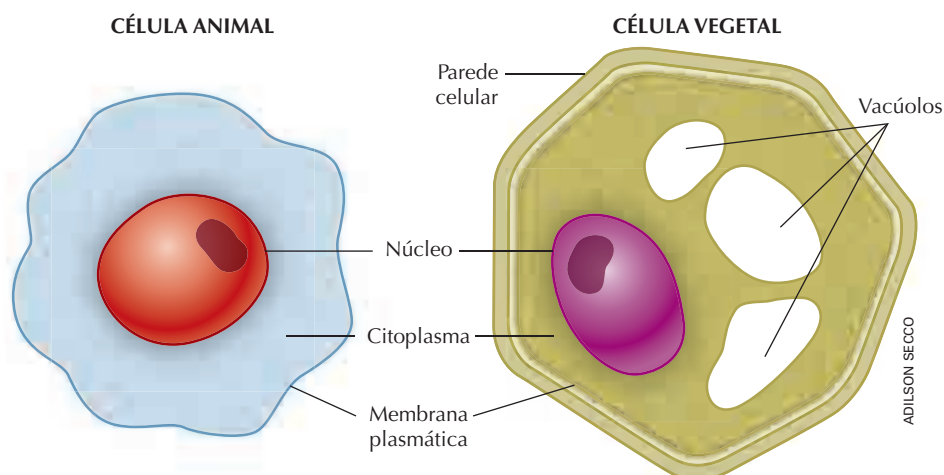


Figura 4.5 Desenhos de células animal e vegetal, na concepção dos citologistas do século XIX. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)

Os **microscópios ópticos** modernos, também chamados **microscópios fotônicos** (do grego *photos*, luz), possuem três conjuntos principais de lentes ópticas, fabricadas em vidro ou cristal. Um dos conjuntos é o **condensador**, cujas lentes têm por função concentrar os raios luminosos que atravessam o objeto em observação. Outro conjunto compõe as **lentes objetivas**, as mais importantes do microscópio, responsáveis pela formação da imagem. O terceiro compõe-se das **lentes oculares**, que ficam próximas ao olho do observador e no qual projetam a imagem.

A luz, após ser concentrada no condensador, atravessa o objeto em observação, passa pelas lentes da objetiva e da ocular e chega ao olho do observador, onde é percebida como uma imagem ampliada. Multiplicando o aumento fornecido pela ocular pelo aumento da objetiva, calculamos o valor final da ampliação. Se empregarmos, por exemplo, uma ocular de 10 vezes e uma objetiva de 50 vezes, o valor final da ampliação será 500 vezes.

Os microscópios ópticos modernos fornecem aumentos médios entre 100 e 1.500 vezes. Se um objeto que mede 0,01 mm de diâmetro (invisível a olho nu) for ampliado 1.000 vezes, sua imagem ampliada terá 10 mm (1 cm) e poderá ser visualizada. (Fig. 4.6)

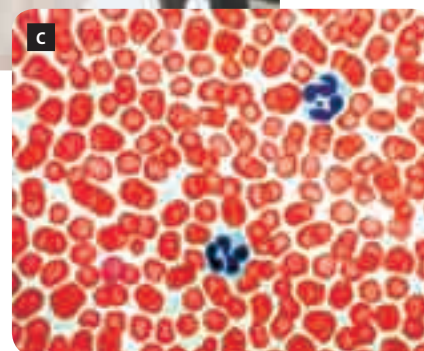
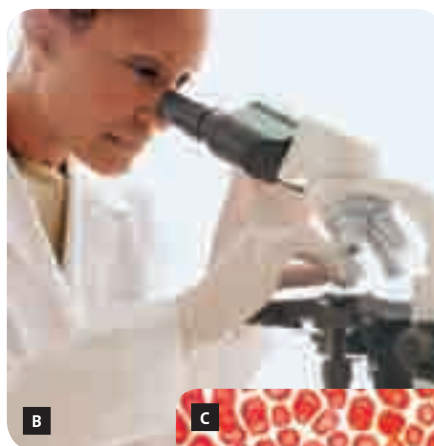
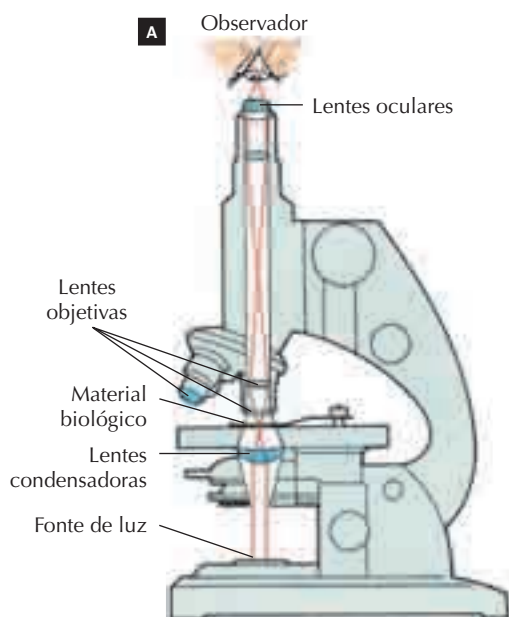


Figura 4.6 **A.** Representação esquemática das partes fundamentais de um microscópio óptico, mostrando o caminho percorrido pela luz (em vermelho) no interior do aparelho. **B.** Microscópio óptico moderno. **C.** Micrografia de esfregaço de sangue humano ao microscópio óptico, em que se veem dezenas de hemácias (glóbulos vermelhos) e dois glóbulos brancos com seus núcleos multilobados, intensamente corados em azul (aumento $\approx 650\times$).

Para medir células e suas estruturas internas, precisamos utilizar unidades especiais, menores que as que empregamos no dia a dia. Uma delas é o **micrometro** (μm), que corresponde a um milésimo do milímetro (10^{-3} mm) e, portanto, a um milionésimo do metro (10^{-6} m). Para dimensões ainda menores, costuma-se usar o **nanometro** (nm), que corresponde a um milésimo do micrometro ($10^{-3}\mu\text{m}$, ou 10^{-6} mm , ou 10^{-9} m). Os físicos e os químicos também utilizam o **angstrom** ($\text{\AA}$), 10 vezes menor que o nanometro e que corresponde a 10^{-10} metros.

Poder de resolução e limite de resolução

A qualidade de um microscópio não depende apenas da ampliação que ele consegue produzir, mas principalmente da capacidade de fornecer imagens nítidas e bem detalhadas. O exemplo a seguir nos ajudará a entender melhor essa questão.

FABIO COLOMBINI



MIKE DANSON/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK



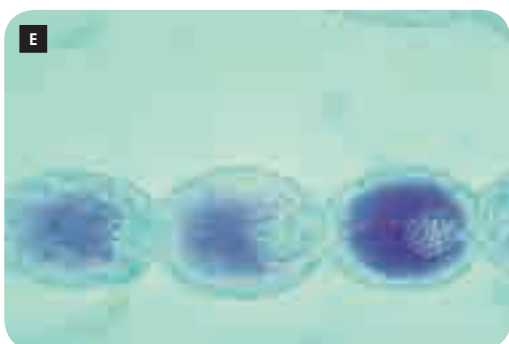
JASON EDWARDS/NATIONAL GEOGRAPHIC/GETTY IMAGES



ARQUIVO DO AUTOR



ARQUIVO DO AUTOR



Observando com uma lente de aumento fotos coloridas impressas em livros e revistas, podemos distinguir claramente que elas são formadas pela composição de pequenos pontos coloridos, de três cores básicas (amarelo, azul e magenta), além de pontinhos pretos. Como esses pontos são muito pequenos e muito próximos, a olho nu “misturamos” suas cores e temos a sensação das diversas cores das fotos. Uma lente de aumento “resolve” os pontos da imagem, isto é, permite vê-los como pontos separados. O verbo *resolver* vem do latim e significa, dentre outras coisas, *separar*. Assim, chegamos ao conceito de **poder de resolução**, que é a capacidade de distinguir pontos muito próximos em uma imagem.

A olho nu conseguimos distinguir (isto é, resolver) pontos que estejam, no máximo, a um décimo de milímetro (0,1 mm ou 100 μm) de distância um do outro. Pontos mais próximos que essa distância-limite são vistos como um ponto único, sem distinção. Portanto, o **limite de resolução** do olho humano é da ordem de 0,1 mm (100 μm). Quanto menor o limite de resolução de um instrumento óptico, mais nítidas e detalhadas serão as imagens que ele fornece, ou seja, maior seu poder de resolução.

Microscópios ópticos de boa qualidade têm limite de resolução da ordem de 0,25 μm (0,00025 mm), o que significa que eles permitem distinguir pontos separados por até 0,25 μm de distância. Portanto, a capacidade desses microscópios em mostrar detalhes de pequenos objetos, isto é, seu poder de resolução, é cerca de 400 vezes maior que a resolução do olho nu (100 $\mu\text{m} \div 0,25 \mu\text{m}$).

3 Técnicas para observação ao microscópio óptico

Para ser observado ao microscópio, o material biológico precisa ser submetido a uma série de processos denominados técnicas citológicas, que variam de acordo com o tipo de material e com o que se deseja observar. Geralmente, os materiais biológicos são colocados sobre uma placa retangular de vidro – a lâmina – e cobertos por uma placa de vidro bem fina – a lamínula. É importante que as células entre a lâmina e a lamínula disponham-se em uma camada bem fina, sem empilhamentos, de modo a permitir a passagem de luz necessária à formação da imagem. Há diversas técnicas de preparação de lâminas; a escolha de cada uma depende do material que se quer estudar e do tipo de estudo que se quer fazer. Algumas das técnicas citológicas mais comuns são descritas a seguir.

Observação vital

Uma técnica citológica relativamente simples é a **observação vital**, também conhecida por **exame a fresco**. O material biológico vivo é colocado entre a lâmina e a lamínula e observado. Essa técnica é utilizada, por exemplo, para observar células vegetais vivas. (Fig. 4.7)

Figura 4.7 Observação vital (ou exame a fresco) de células do pelo estaminal da trapoeira-roxa (*Tradescantia pallida*), uma planta comum de jardim. **A.** Aspecto geral da planta em um canteiro. **B.** Folhas e flores. **C.** Detalhe da flor, mostrando os pelos estaminais (setas). **D.** Micrografia de pelos estaminais com células vivas, observadas ao microscópio óptico (aumento $\approx 110\times$). **E.** Micrografia de pelo estaminal com células em maior aumento ($\approx 270\times$).

Fixação e coloração das células

A observação a fresco permite distinguir poucas estruturas celulares. Para evidenciar os detalhes internos das células, o material biológico tem de passar por diferentes tratamentos antes de ser observado. Geralmente, o primeiro tratamento é a **fixação**, que consiste em matar rapidamente as células, preservando ao máximo sua estrutura interna, como se fosse uma espécie de mumificação. Para obter esse efeito, costuma-se mergulhar as células em líquidos fixadores (formol, ácido acético, álcool etc.), que têm a propriedade de estabilizar certas substâncias químicas do material, preservando o aspecto geral da célula e das estruturas celulares.

As estruturas celulares, mesmo depois de fixadas, apresentam contraste pequeno, distinguindo-se pouco umas das outras. Para superar essa dificuldade, os cientistas desenvolveram técnicas para colorir determinadas estruturas celulares, a fim de realçá-las. Depois de obter fatias finas de células previamente fixadas, elas são colocadas sobre lâminas de vidro e mergulhadas em soluções que contêm substâncias coloridas, os **corantes citológicos**. Os corantes têm afinidade por certas estruturas da célula, associando-se especificamente a elas. Depois que a preparação é retirada do corante, lavada e observada ao microscópio, essas estruturas tornam-se coloridas e destacam-se das demais.

Uma técnica comum de coloração citológica emprega os corantes hematoxilina e eosina. A hematoxilina é um corante azul-arroxeadado com grande afinidade pelo núcleo celular e pouca afinidade pelo citoplasma; a eosina é um corante alaranjado com grande afinidade pelo citoplasma celular e pouca afinidade pelo núcleo. Células coradas simultaneamente com esses dois corantes aparecem ao microscópio com o núcleo arroxeadado e o citoplasma alaranjado. (Fig. 4.8)

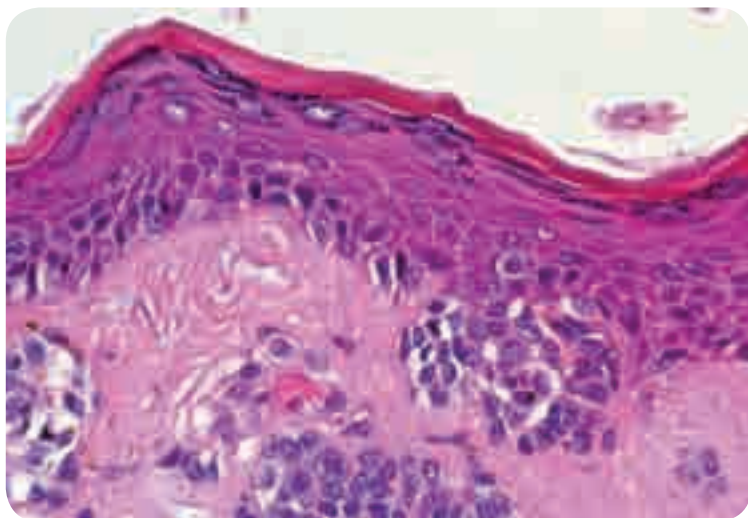


Figura 4.8 Micrografia de corte de pele humana corada com hematoxilina e eosina e observada ao microscópio óptico (aumento $\approx 340\times$).

Nos exames a fresco, também podem-se utilizar alguns corantes especiais, conhecidos como **corantes vitais**, que penetram na célula e evidenciam suas estruturas sem matá-la. Exemplos de corantes vitais são o azul de metileno e o verde Janus, este último com grande especificidade na coloração de estruturas citoplasmáticas denominadas mitocôndrias.

Esfregaço

Se o material biológico é constituído por células isoladas ou pouco unidas entre si, pode-se simplesmente espalhá-lo sobre a lâmina de vidro, processo conhecido por **técnica de esfregaço**. Por exemplo, para preparar lâminas de sangue, pinga-se uma gota desse material sobre a lâmina e espalha-se bem, para formar uma camada fina. Isso evita que as células fiquem empilhadas e permite observá-las isoladamente.



A técnica de esfregaço também pode ser utilizada para observar células de revestimentos mucosos, as quais se soltam com certa facilidade. Por exemplo, para obter células do revestimento interno da boca, raspa-se levemente a superfície da mucosa bucal com um instrumento adequado, espalhando as células coletadas sobre uma lâmina de microscopia, de modo a obter o esfregaço. (Fig. 4.9)

Esmagamento

No caso de células frouxamente associadas, como as de partes moles de tecidos animais ou vegetais, pode-se preparar o material por meio da **técnica de esmagamento**. O material, geralmente já fixado e corado, é colocado entre uma lâmina e uma lamínula de vidro e esmagado pela pressão suave do dedo polegar. Em alguns casos, o material pode ser aquecido previamente para fazer com que suas células se separem com mais facilidade. (Fig. 4.10)

Corte manual

Quando o material biológico tem células firmemente unidas entre si, é necessário cortá-lo em fatias finas, denominadas **cortes histológicos**. É possível cortar manualmente certos materiais vegetais relativamente rígidos – caules, raízes, folhas etc. – com uma lâmina de barbear bem afiada e observá-los a fresco entre a lâmina e a lamínula. As estruturas vegetais, sendo geralmente mais rígidas que as dos animais, permitem a confecção de cortes suficientemente finos para uma observação vital satisfatória.

Figura 4.9 Micrografias de células da mucosa bucal humana ao microscópio óptico (aumento $\approx 240\times$). **A.** Sem coloração, com um recurso óptico que aumenta o contraste. **B.** Com coloração dos núcleos por hematoxilina. **C.** Com dupla coloração, por hematoxilina (colore núcleos) e eosina (colore o citoplasma).

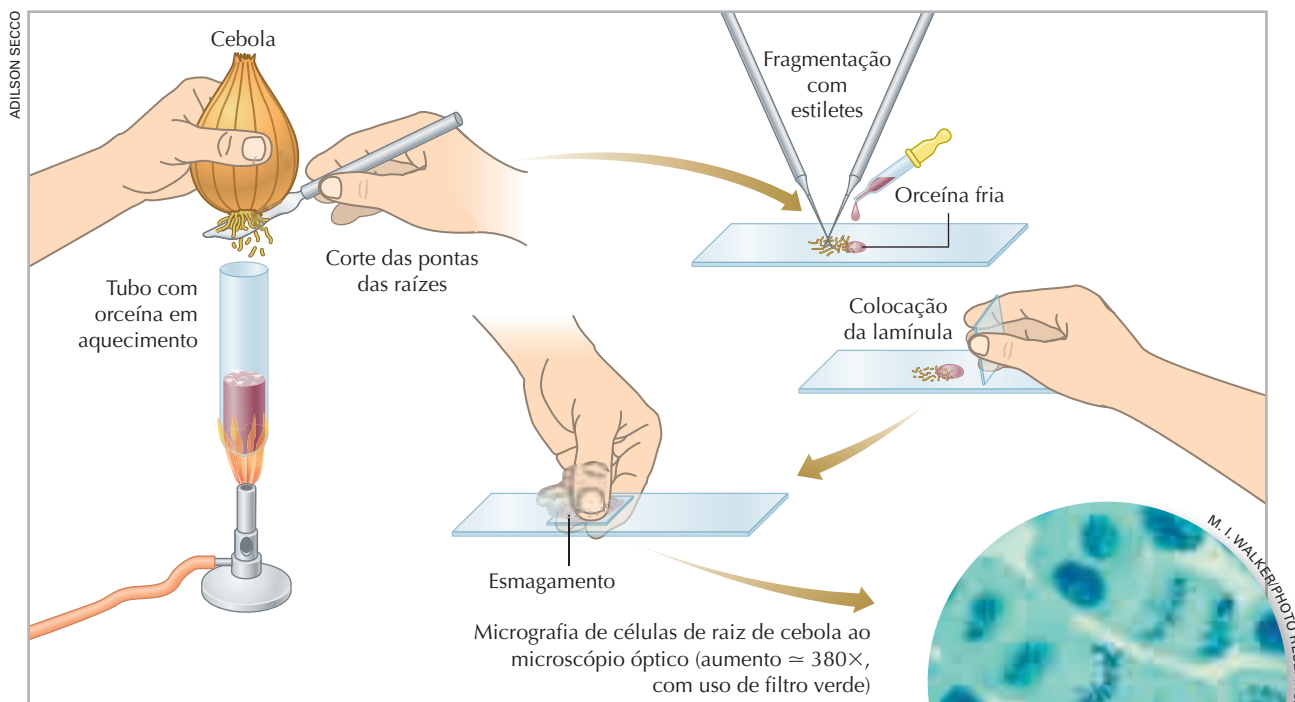


Figura 4.10 Representação esquemática de etapas da preparação de uma lâmina de raiz de cebola pela técnica de esmagamento. [Imagens sem escala, cores-fantasia.] As pontas das raízes são fervidas em um tubo com o corante orceína e transferidas para uma lâmina. Aplica-se orceína fria sobre elas. Em seguida, são picadas com dois estiletes e esmagadas entre lâmina e lamínula.

Inclusão e corte com o micrótomo

O estudo microscópico detalhado das células requer que elas sejam cortadas em fatias muito finas. Para isso, é preciso submeter os materiais biológicos a tratamentos que endurecem as células e facilitam o corte.

O método mais comum para enrijecer materiais biológicos é chamado de **inclusão**. O material é mergulhado em uma substância inicialmente líquida que depois endurece, preenchendo-o e envolvendo-o completamente. Em preparações destinadas ao microscópio óptico, mergulha-se em parafina derretida pelo calor o material já fixado e espera-se que ela esfrie e solidifique. O material fica, assim, incluído dentro de um bloco de parafina solidificada e pode ser cortado em fatias bem finas, com cerca de 5 micrometros de espessura. Para se obterem cortes histológicos finos assim, emprega-se um aparelho chamado **micrótomo**. (Fig. 4.11)

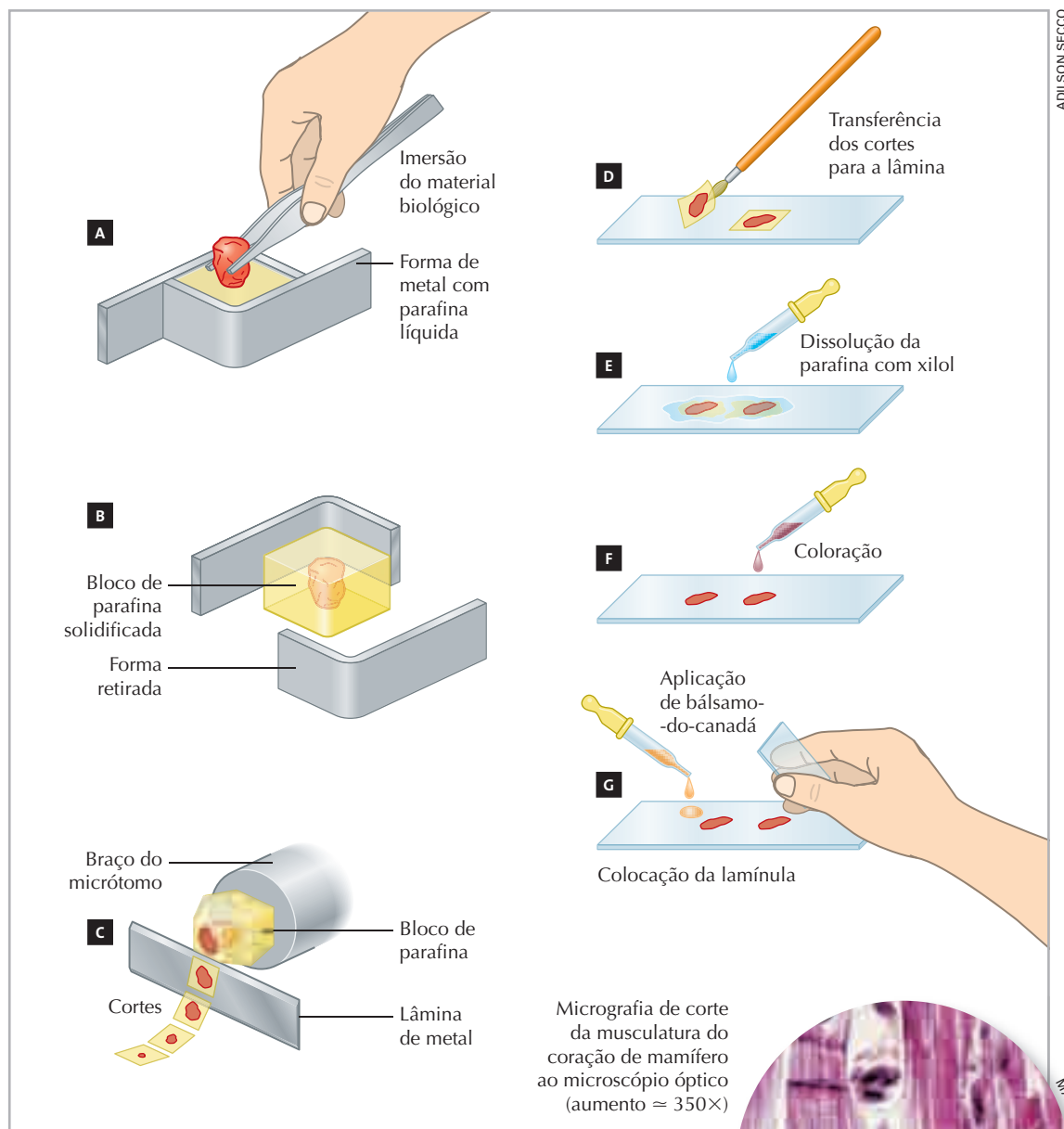


Figura 4.11 Representação esquemática das técnicas de inclusão em parafina e corte. [Imagens sem escala, cores-fantasia.] Antes de ser mergulhado na parafina liquefeita pelo calor (A), a cerca de 65 °C, o material biológico é fixado, desidratado e impregnado de um solvente orgânico, o xilol. Depois que a parafina se solidifica (B), a peça que contém o material incluído é cortada no micrótomo (C). Os cortes são colocados sobre lâminas de vidro, a parafina é removida com xilol e faz-se a coloração (D, E, F). Finalmente, os cortes de tecido biológico recebem gotas de uma cola especial (bálsamo-do-canadá) e são cobertos com uma laminula (G).

A célula observada ao microscópio eletrônico

1 Como funcionam os microscópios eletrônicos

Na década de 1950, a pesquisa biológica começou a empregar microscópios eletrônicos, que possibilitaram estudos mais detalhados da estrutura interna das células. Enquanto os microscópios ópticos fornecem aumentos máximos em torno de 1.500 vezes, os microscópios eletrônicos modernos utilizam rotineiramente aumentos entre 5 mil e 100 mil vezes, ou ainda maiores.

Mais importante que o aumento é o alto poder de resolução dos microscópios eletrônicos; seu limite de resolução é da ordem de $0,001\ \mu\text{m}$ (correspondente a $1\ \text{nm}$ ou $0,000001\ \text{mm}$), o que significa que pontos distantes entre si até $0,001\ \mu\text{m}$ são vistos como pontos separados; isso possibilita observações muito mais detalhadas que ao microscópio óptico. O poder de resolução do microscópio eletrônico é cerca de 250 vezes maior que o do microscópio óptico ($0,25\ \mu\text{m} \div 0,001\ \mu\text{m} = 250$) e cerca de 100 mil vezes maior que o do olho nu ($100\ \mu\text{m} \div 0,001\ \mu\text{m} = 100.000$).

Microscópio eletrônico de transmissão

O **microscópio eletrônico de transmissão** é assim chamado porque funciona com um feixe de elétrons, que atravessa o material biológico e produz a imagem. Esse microscópio consiste basicamente em um tubo de metal com cerca de 1 m de altura por 20 cm de diâmetro, conectado a uma bomba de vácuo que extrai o ar de seu interior. Na parte superior do tubo, há um filamento de tungstênio, que é submetido a uma tensão elétrica de aproximadamente 60 mil volts para emitir elétrons. Estes se propagam como um feixe em direção à parte inferior do tubo do microscópio, passando através de “lentes eletrônicas”, bobinas elétricas especiais capazes de criar fortes campos eletromagnéticos. As lentes eletrônicas interagem com o feixe de elétrons, condensando-o ou ampliando-o.

O feixe eletrônico é projetado no material biológico, no qual algumas estruturas permitem a passagem de elétrons e outras não. Depois de atravessar o material biológico, o feixe de elétrons deixa de ser homogêneo e constitui uma “imagem” eletrônica das estruturas que atravessou. Essa imagem é ampliada e projetada em um monitor de vídeo ou em uma chapa fotográfica, na qual é registrada. (Fig. 4.12)

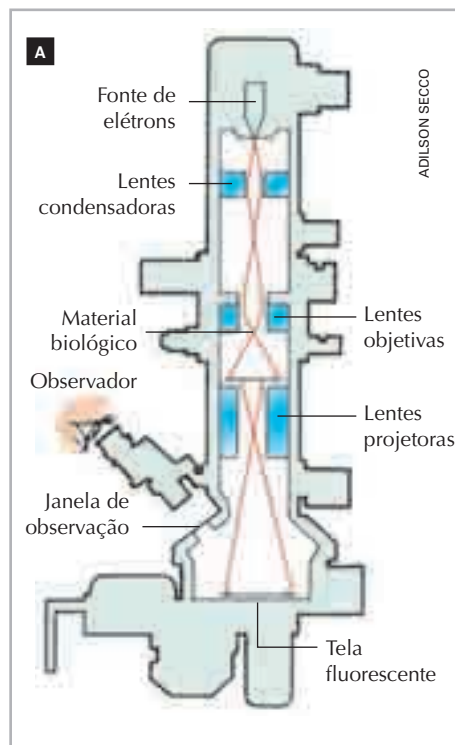
» Habilidades sugeridas

► Conhecer os princípios básicos de funcionamento dos microscópios eletrônicos de transmissão e de varredura e estar informado sobre seu aumento, resolução e possibilidade ou não de realizar observações vitais.

► Conhecer os fundamentos das principais técnicas de preparação de materiais biológicos para observação ao microscópio eletrônico: fixação, coloração eletrônica, inclusão e corte.

» Conceitos principais

- microscópio eletrônico de transmissão
- microscópio eletrônico de varredura
 - célula eucariótica
 - célula procariótica



ADILSON SECCO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Microscópio eletrônico de varredura

Outro tipo de microscópio eletrônico, utilizado para estudar detalhes da superfície de objetos sólidos, é o **microscópio eletrônico de varredura**. Nesse aparelho, projeta-se um feixe de elétrons extremamente condensado sobre o material biológico previamente fixado e coberto com uma finíssima película metálica. Move-se o feixe de elétrons para a frente e para trás, “varrendo” todo o objeto. Durante essa varredura, a superfície do material emite elétrons, que são captados por um sensor. A interpretação computadorizada dos elétrons emitidos permite compor imagens tridimensionais, reproduzidas em um monitor e que podem ser impressas como fotomicrografias. (Fig. 4.13)

2

Técnicas para observação ao microscópio eletrônico

Apesar de o microscópio eletrônico de transmissão ter sido inventado na década de 1930, só começou a ser empregado amplamente em Biologia por volta de 1950; até então, não se sabia como preparar as células para esse novo aparelho. Entretanto, logo se desenvolveram técnicas para fixar, corar, incluir e cortar células para observação em microscopia eletrônica, como se havia feito em microscopia óptica mais de um século antes.

Fixação

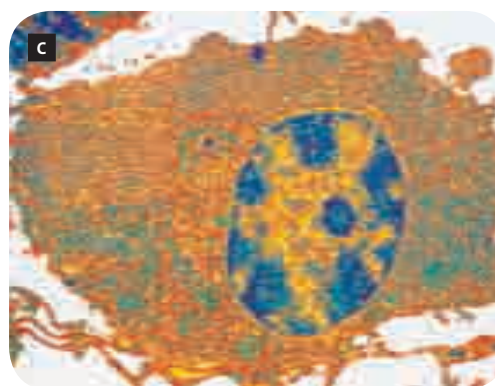
No microscópio eletrônico, não é possível observar materiais vivos porque estes têm de ser colocados no vácuo e atravessados ou varridos por um feixe de elétrons. O primeiro procedimento na preparação do material para microscopia eletrônica é a fixação, geralmente feita com uma substância chamada glutaraldeído, que fixa principalmente proteínas. Em seguida, o material é tratado com tetróxido de ósmio (OsO_4), que fixa lipídios.

CHAD EHLERS/ALAMY/OTHER IMAGES



Figura 4.13 Microscópio eletrônico de varredura, que permite a obtenção de imagens tridimensionais de objetos em grandes ampliações.

R. MAISONNEUVE, PUBLIPHOTO DIFFUSION/SCIENCE PHOTO LIBRARY/SPL DCLATINSTOCK



PASIEKA/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

Figura 4.12 **A.** Representação esquemática das principais partes de um microscópio eletrônico de transmissão. O caminho do feixe de elétrons está indicado em vermelho. **B.** Microscópio eletrônico de transmissão e monitores para visualizar a imagem. **C.** Micrografia, obtida por microscópio eletrônico de transmissão, de um corte de célula humana (colorizada artificialmente; aumento $\approx 8.300\times$).

Inclusão, corte com o ultramicrotomo e coloração

Depois de fixado, o material biológico é desidratado (isto é, tem sua água removida), incluído e cortado em fatias muito finas, com espessura em torno de $0,05\ \mu\text{m}$. Esses procedimentos são necessários porque o feixe de elétrons possui pequeno poder de penetração e só consegue atravessar materiais de pouca espessura. Para obter cortes histológicos tão finos, é necessário endurecer previamente o material biológico, incluindo-o em resinas sintéticas. Em seguida, o bloco de resina com o material incluído é cortado em um tipo especial de micrótomo, o ultramicrotomo, equipado com navalhas de vidro ou de diamante.

O material cortado é, em seguida, corado com a utilização de sais de urânio e de chumbo. Os corantes eletrônicos, como são chamados esses sais metálicos, não são realmente coloridos, mas fazem com que as estruturas celulares se tornem diferencialmente “eletro-densas”, isto é, apresentem maior ou menor permeabilidade ao feixe de elétrons. Estruturas que incorporam bastante corante aparecem em preto ou em tons escuros de cinza; as que incorporam pouco corante aparecem em tons de cinza mais claro. As fotomicrografias eletrônicas podem ser coloridas artificialmente, um recurso gráfico que facilita a distinção das estruturas celulares. (Fig. 4.14)

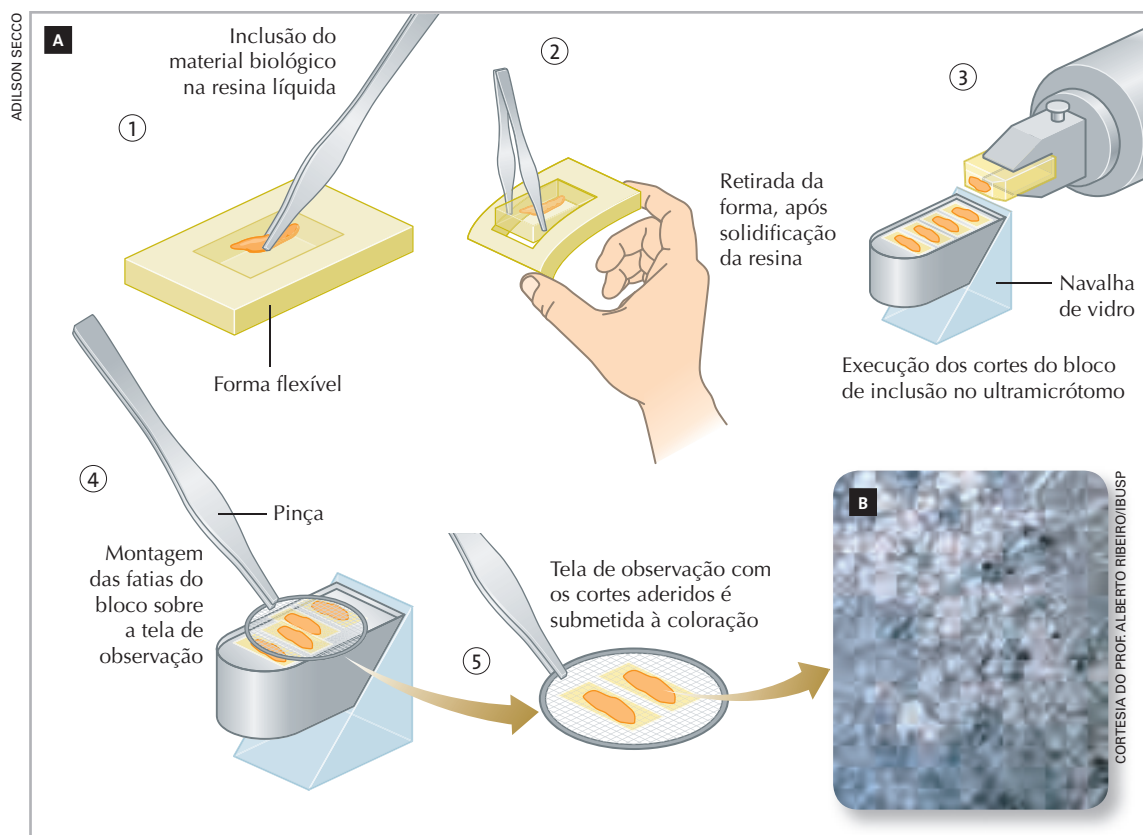


Figura 4.14 A. Representação esquemática das etapas de preparação de um material biológico para observação ao microscópio eletrônico de transmissão. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)

B. Micrografia do ápice de uma célula produtora de seda de um inseto, obtida nesse tipo de microscópio. Veem-se as vesículas repletas de secreção, liberadas pelo complexo golgiense (bolsas claras ao longo da diagonal da foto), e as microvilosidades na superfície da célula (na parte superior direita) (aumento $\approx 4.000\times$).

3

Descobrimo o interior das células vivas

O microscópio eletrônico revolucionou o estudo das células, permitindo, por exemplo, a visualização da membrana plasmática, invisível ao microscópio óptico. O citoplasma das células de animais e de plantas, que parecia um líquido homogêneo ao microscópio óptico, revelou-se um complexo labirinto membranoso, com tubos, bolsas, grânulos e filamentos banhados por um fluido viscoso. Os microscópios eletrônicos mais modernos permitem visualizar até mesmo certas moléculas de grande tamanho, como as de proteínas e de DNA.

A microscopia eletrônica revelou a existência dos dois tipos básicos de célula: procariótica e eucariótica. A principal diferença entre elas é que as **células eucarióticas** (do grego *eu*, verdadeiro, e *karyon*, núcleo) têm o citoplasma repleto de canais, bolsas e outras estruturas membranosas, sendo uma delas o núcleo. As **células procarióticas** (do grego *protos*, primitivo, e *karyon*, núcleo) são mais simples que as eucarióticas: seu citoplasma não tem estruturas membranosas nem núcleo; o material genético se concentra em uma região da célula chamada nucleóide. A estrutura interna das células será estudada com mais detalhes nos próximos capítulos deste livro. (Fig. 4.15)

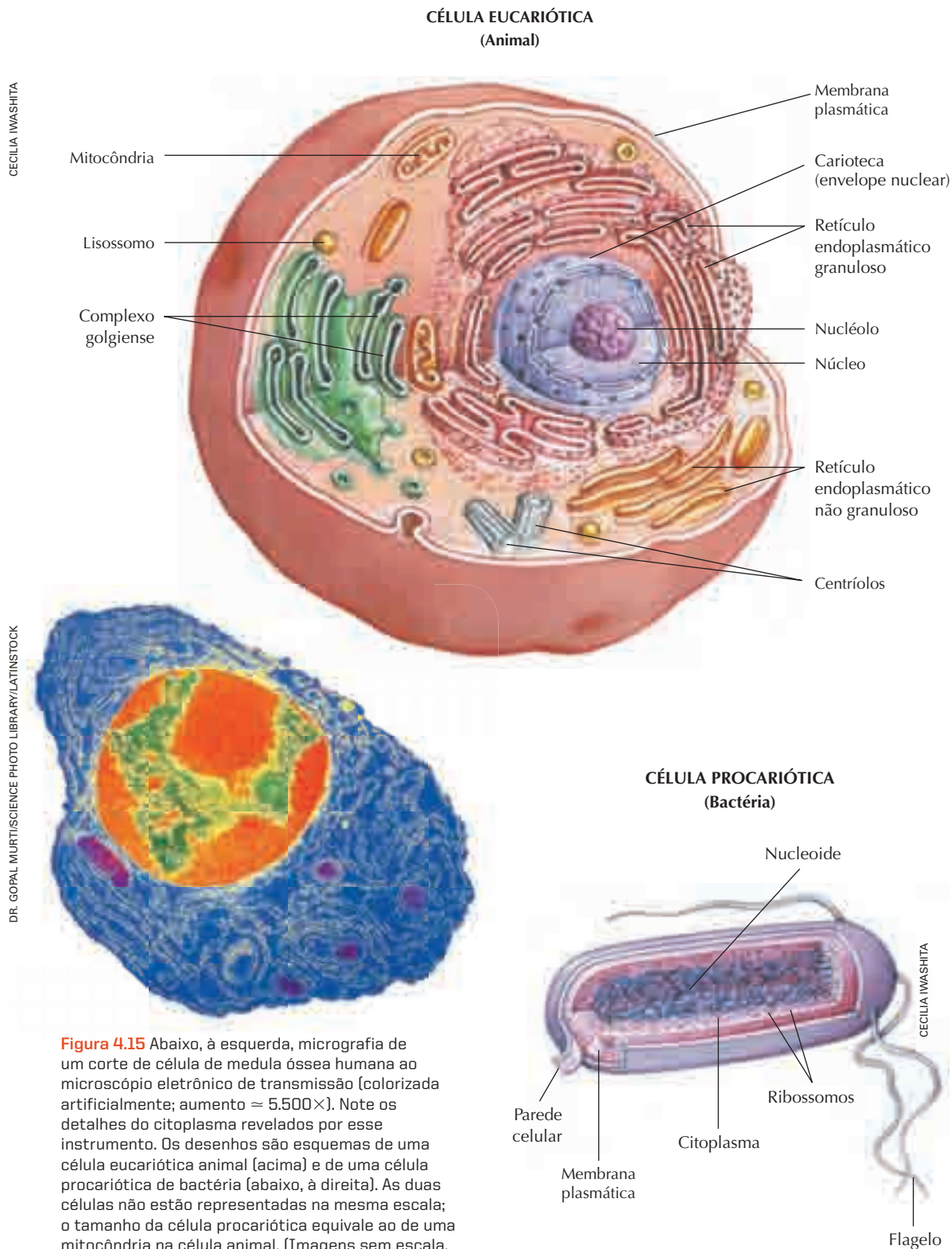


Figura 4.15 Abaixo, à esquerda, micrografia de um corte de célula de medula óssea humana ao microscópio eletrônico de transmissão (colorizada artificialmente; aumento $\approx 5.500\times$). Note os detalhes do citoplasma revelados por esse instrumento. Os desenhos são esquemas de uma célula eucariótica animal (acima) e de uma célula procariótica de bactéria (abaixo, à direita). As duas células não estão representadas na mesma escala; o tamanho da célula procariótica equivale ao de uma mitocôndria na célula animal. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)

» Habilidade sugerida

► Conhecer a importância do fracionamento celular e da radioautografia como métodos de estudo das células.

» Conceitos principais

- centrifugação
- radioautografia

Outros métodos para o estudo da célula

1 Fracionamento celular

A partir de 1950, a Biologia Celular desenvolveu-se de forma espetacular, não apenas devido aos avanços da microscopia eletrônica, mas também à evolução dos métodos de análise bioquímica das partes celulares. Essas duas técnicas se complementam: enquanto o microscópio eletrônico revela a estrutura física das partes da célula, a análise bioquímica mostra sua composição química e permite deduzir suas funções.

A análise bioquímica das estruturas celulares geralmente começa com a maceração das células e sua homogeneização. Em seguida, o homogeneizado celular é submetido à **centrifugação**, ou seja, a altas rotações em aparelhos denominados centrífugas.

Nas centrífugas de laboratório, coloca-se o homogeneizado em tubos presos ao eixo do rotor, que gira a grande velocidade. A rotação produz forças centrífugas que levam as partículas presentes no homogeneizado a se depositar no fundo do tubo; quanto maior for a rotação do motor, maior será a força centrífuga gerada. Forças centrífugas de baixa intensidade fazem afundar apenas partículas mais densas. Por exemplo, quando o homogeneizado é submetido a uma força de aceleração da ordem de 600 g (equivalente a 600 vezes a aceleração da gravidade terrestre) durante 10 minutos, apenas os núcleos celulares vão para o fundo do tubo, onde aderem devido à pressão da força centrífuga.

O líquido sobrenadante pode ser transferido para outro tubo e submetido a forças de centrifugação maiores, por exemplo, da ordem de 20.000 g. Com isso, estruturas celulares como as mitocôndrias depositam-se no fundo do tubo. Continuando a aplicar forças de centrifugação progressivamente maiores, é possível separar diversos componentes celulares. Cada componente celular isolado pode ser quimicamente analisado para identificação de seus constituintes moleculares. (Fig. 4.16)

2 Utilização de substâncias radioativas

Uma das estratégias importantes na pesquisa biológica moderna é a utilização de substâncias radioativas. Com elas, é possível descobrir, dentre outras coisas, o momento exato em que certos compostos são produzidos na célula e o local onde isso está ocorrendo.

Se um pesquisador deseja saber, por exemplo, se um órgão animal está produzindo DNA (ácido desoxirribonucleico), ele injeta no animal vivo uma substância radioativa que servirá de matéria-prima para a produção de moléculas de DNA. Nesse caso, é muito comum o emprego de timina radioativa porque as células utilizam essa substância apenas para produzir DNA. Assim, se a célula incorporar a timina radioativa, teremos certeza de que houve produção de DNA. Um analisador de radioatividade ou um filme altamente sensível permitirá a identificação da timina radioativa contida no DNA.

Algum tempo depois do fornecimento da timina radioativa, o animal é sacrificado e o órgão em estudo é removido. Procedimentos especiais permitem isolar o DNA dos demais componentes celulares e testá-lo em um aparelho que mede a radiação emitida pela timina radioativa incorporada. Caso o DNA apresente radioatividade, conclui-se que ele foi produzido no período entre a injeção da timina radioativa e a morte do animal.

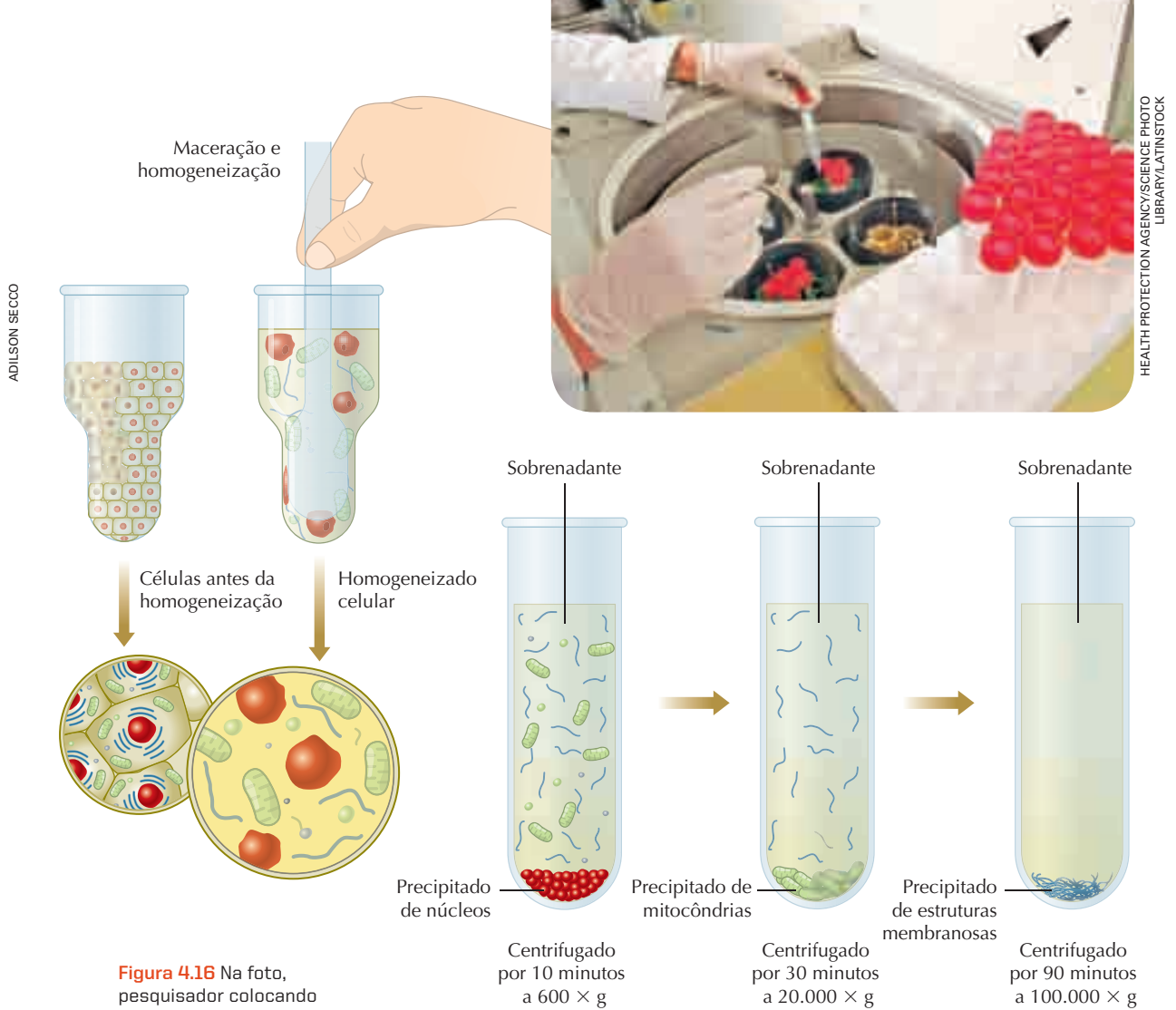


Figura 4.16 Na foto, pesquisador colocando tubos em uma centrífuga. Os desenhos mostram esquematicamente a técnica de separação fracionada de componentes celulares por centrifugação. [Imagens sem escala, cores-fantasia.]

Radioautografia

Para determinar em que local da célula o DNA está sendo produzido, podemos utilizar uma técnica conhecida por **radioautografia**. Nesse caso, o órgão do animal que recebeu timina radioativa é preparado em lâminas para observação microscópica. Em um quarto totalmente escuro, as lâminas são recobertas com uma fina película fotográfica virgem e guardadas em caixas à prova de luz.

Locais da célula em que há DNA radioativo, portanto, produzido após a injeção de timina radioativa, emitem radiação que impressiona a película fotográfica sobre a lâmina. Após alguns dias de exposição à radiação, revela-se a lâmina com a película fotográfica aderida. Se forem observados grãos negros no filme revelado, isso indicará a presença de substâncias radioativas nas células situadas imediatamente abaixo. Os grãos estarão localizados principalmente na área do filme sobre os núcleos celulares, onde se encontra a maior parte do DNA celular. (Fig. 4.17)

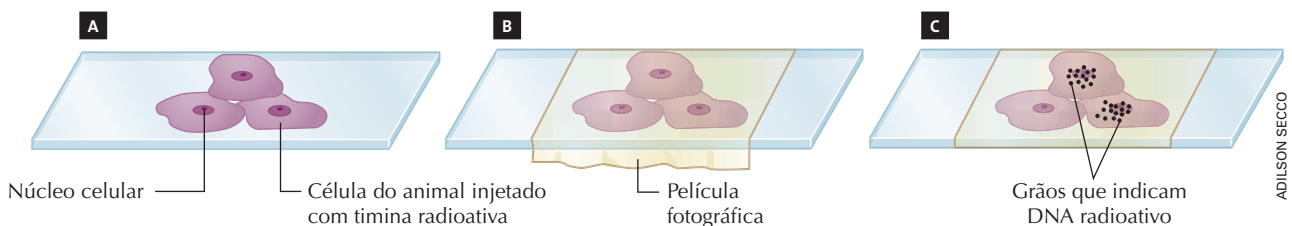


Figura 4.17 Representação esquemática da técnica de radioautografia, que permite localizar onde determinada substância está sendo produzida em uma célula. [Imagens sem escala, cores-fantasia.]

QUESTÕES PARA PENSAR E DISCUTIR

Questões objetivas

Considere as alternativas a seguir para responder às questões de 1 a 3.

- a) Antonie van Leeuwenhoek
- b) Robert Hooke
- c) Theodor Schwann
- d) Robert Brown

1. Quem foi um dos formuladores da teoria celular?
2. Quem introduziu o termo célula na Biologia?
3. A quem se atribui a descoberta do mundo microscópico?
4. De acordo com a teoria celular, apesar de serem diferentes no nível macroscópico, todos os seres vivos são semelhantes em sua constituição fundamental, uma vez que
 - a) são capazes de se reproduzir sexualmente.
 - b) são constituídos por células.
 - c) contêm moléculas orgânicas.
 - d) se originam de gametas.
5. A Citologia, ramo da Biologia que estuda as células, surgiu após a invenção do
 - a) microscópio óptico.
 - b) microscópio eletrônico de transmissão.
 - c) microscópio eletrônico de varredura.
 - d) micrótomo.
6. Ao microscópio óptico, pode-se observar
 - a) apenas a parede celular.
 - b) apenas o citoplasma.
 - c) citoplasma, núcleo e parede celular.
 - d) citoplasma, núcleo e membrana plasmática.
7. Uma diferença entre o microscópio simples e o microscópio composto é que o primeiro
 - a) utiliza luz branca simples e, o segundo, feixes de elétrons.
 - b) utiliza feixes simples de elétrons e, o segundo, luz composta de sete cores.
 - c) possui apenas uma lente e, o segundo, duas lentes ou dois conjuntos de lentes.
 - d) possui duas lentes simples e, o segundo, apenas um conjunto de lentes.
8. A técnica de esfregaço é utilizada no estudo microscópico do sangue porque as células sanguíneas
 - a) estão firmemente unidas entre si.
 - b) estão separadas umas das outras.
 - c) possuem uma parede rígida, difícil de ser cortada.
 - d) possuem núcleos muito grandes e fáceis de se romper.

9. Para a observação de células firmemente unidas entre si, a técnica recomendada é o(a)
 - a) esfregaço.
 - b) esmagamento.
 - c) exame a fresco.
 - d) inclusão e corte.
10. A membrana das células, pelo fato de ter cerca de 5 nm (10^{-5} mm) de espessura, pode ser observada
 - a) ao microscópio óptico.
 - b) ao microscópio eletrônico de transmissão.
 - c) ao microscópio simples.
 - d) a olho nu.
11. Em uma fotomicrografia obtida com um microscópio eletrônico de transmissão, o núcleo de uma célula mede 5,5 cm de diâmetro. Sabendo-se que a ampliação da imagem é de 11.000 vezes, qual era o diâmetro real desse núcleo?
 - a) 5 cm.
 - b) 5 mm.
 - c) 5 μ m (ou 0,005 mm).
 - d) 5 nm (ou 0,000005 mm).
12. Uma célula com diâmetro de 10 μ m (ou 0,01 mm) foi fotografada ao microscópio óptico. Qual é o diâmetro dessa célula em uma fotomicrografia ampliada 1.000 vezes?
 - a) 1 mm.
 - b) 1 cm.
 - c) 10 cm.
 - d) 100 cm.
13. Um pesquisador estudou a célula de um organismo, verificando a ausência de compartimentos membranosos, até mesmo do núcleo. Com base nessas observações, ele poderá concluir que a célula pertence a
 - a) um fungo.
 - b) um animal.
 - c) uma planta.
 - d) uma bactéria.
14. A observação detalhada de estruturas internas membranosas de uma célula viva pode ser realizada
 - a) a olho nu.
 - b) ao microscópio óptico.
 - c) ao microscópio eletrônico de transmissão.
 - d) ao microscópio eletrônico de varredura.

Questões discursivas

15. Construa uma tabela que inclua os cientistas pioneiros citados a seguir e que indique a época em que eles atuaram, assim como o principal aspecto de seus trabalhos.
 - a) Antonie van Leeuwenhoek
 - b) Robert Hooke
 - c) Robert Brown
 - d) Mathias Schleiden
 - e) Theodor Schwann

16. Esquematize uma célula animal com suas partes básicas, tal como era entendida antes do advento do microscópio eletrônico. Não se esqueça de colocar setas e legendas para identificar as diferentes partes dos desenhos.
17. Suponhamos que você tenha recebido uma fotografia de uma célula ampliada. Medidos com uma régua, os diâmetros da imagem da célula e de seu núcleo, na fotografia, eram, respectivamente, 17,5 cm e 4,25 cm. A ocular e a objetiva usadas no microscópio eram de, respectivamente, 10× e 40× de aumento. A ampliação fotográfica para o papel foi de 5×, além do que foi ampliado e registrado no negativo do filme. Quanto medem, em micrometros, a célula e seu núcleo?
18. Ao preparar uma lâmina de fígado de rato para observação ao microscópio óptico, um citologista realizou os seguintes procedimentos:
 1. retirada do fígado e imersão em um líquido fixador;
 2. inclusão em parafina;
 3. corte no micrótomo;
 4. coloração por hematoxilina e eosina.

Explique a razão de cada um dos procedimentos realizados.
19. Construa uma tabela que compare os microscópios óptico e eletrônico considerando os seguintes aspectos:
 1. tipo de lente utilizada;
 2. aumentos usuais;
 3. espessura dos cortes requeridos para observação;
 4. limite de resolução;
 5. possibilidade de observar material vivo (sim/não).
20. A Biologia moderna costuma dividir os seres vivos em procarióticos e eucarióticos. Justifique por que essa divisão foi possível apenas após a introdução do microscópio eletrônico na Citologia.

- c) há estreita relação entre a forma e função nas células.
- d) células embrionárias multiplicam-se por mitose.
- e) vegetais e animais são constituídos por células.

3. (Unifor-CE) Durante o processo de preparação de tecidos em cortes para estudo microscópico, uma das fases em que o tecido é endurecido, a fim de que possa ser cortado em fatias finíssimas, é denominada
 - a) fixação.
 - b) coloração.
 - c) inclusão.
 - d) montagem.
4. (UnB-DF) Quando se usa o microscópio, é importante saber de quanto o instrumento ampliou a imagem do objeto. Se, por exemplo, na ocular estiver marcado 5× e na objetiva 12×, a ampliação é de
 - a) 17 diâmetros ($12 \times + 5 \times$).
 - b) 7 diâmetros ($12 \times - 5 \times$).
 - c) 60 diâmetros ($12 \times \times 5 \times$).
 - d) 2,4 diâmetros ($12 \times \div 5 \times$).
5. (Unigranrio-RJ) Os seres vivos, exceto um, são constituídos por unidades biológicas identificadas como células. As exceções são
 - a) as algas.
 - b) os vírus, considerados seres vivos pela maioria dos cientistas modernos.
 - c) os vermes.
 - d) as bactérias, ainda que consideradas seres vivos por uma minoria de pesquisadores.
6. (Vunesp) Os procariontes diferenciam-se dos eucariontes porque os primeiros, entre outras características,
 - a) não possuem material genético.
 - b) possuem material genético como os eucariontes, mas são anucleados.
 - c) possuem núcleo, mas o material genético encontra-se disperso no citoplasma.
 - d) possuem material genético disperso no núcleo, mas não em estruturas organizadas denominadas cromossomos.
 - e) possuem núcleo e material genético organizado nos cromossomos.
7. (FMU/Fiam-Faam/Fisp-SP) Preparou-se, rapidamente, uma lâmina a ser examinada ao microscópio óptico; para identificar se o material é de origem animal ou vegetal, convém observar se as células possuem
 - a) núcleo.
 - b) membrana celular.
 - c) parede celular.
 - d) mitocôndrias.
 - e) nucléolos.

VESTIBULARES PELO BRASIL

Questões objetivas

1. (UFPA-Adaptado) A descoberta da célula foi feita em 1665 por (■). Em 1838 e 1839, (■) e (■), através de observações de estruturas de muitas plantas e animais, concluíram que os seres vivos são constituídos por células. Qual a alternativa que completa corretamente as frases?
 - a) Hooke, Weismann, Schwann.
 - b) Virchow, Schleiden, Schwann.
 - c) Schleiden, Hooke, Schwann.
 - d) Hooke, Schleiden, Schwann.
 - e) Virchow, Weismann, Hooke.
2. (Unifor-CE) A teoria celular, proposta por Schleiden e Schwann, afirmava que
 - a) toda célula provém de uma célula preexistente.
 - b) todas as células vivas têm núcleo individualizado.

Questão discursiva

8. (Fuvest-SP-Adaptado) Quais as diferenças existentes entre células procariontes e eucariontes quanto a núcleo e citoplasma?

Capítulo

5

Fronteiras da célula

A célula viva é um mundo microscópico onde ocorre intensa atividade bioquímica; as fronteiras celulares são delimitadas por um finíssimo envoltório: a membrana plasmática.

Neste capítulo estudaremos a membrana celular, que resguarda o interior da célula e seleciona criteriosamente tudo o que entra e sai, mantendo adequadas as condições celulares internas.

› 5.1 Membrana plasmática

Apesar de muito fina — cerca de 5 nanômetros (nm) de espessura — a membrana plasmática é extremamente complexa e versátil, desempenhando papel fundamental na vida da célula.

› 5.2 Permeabilidade celular

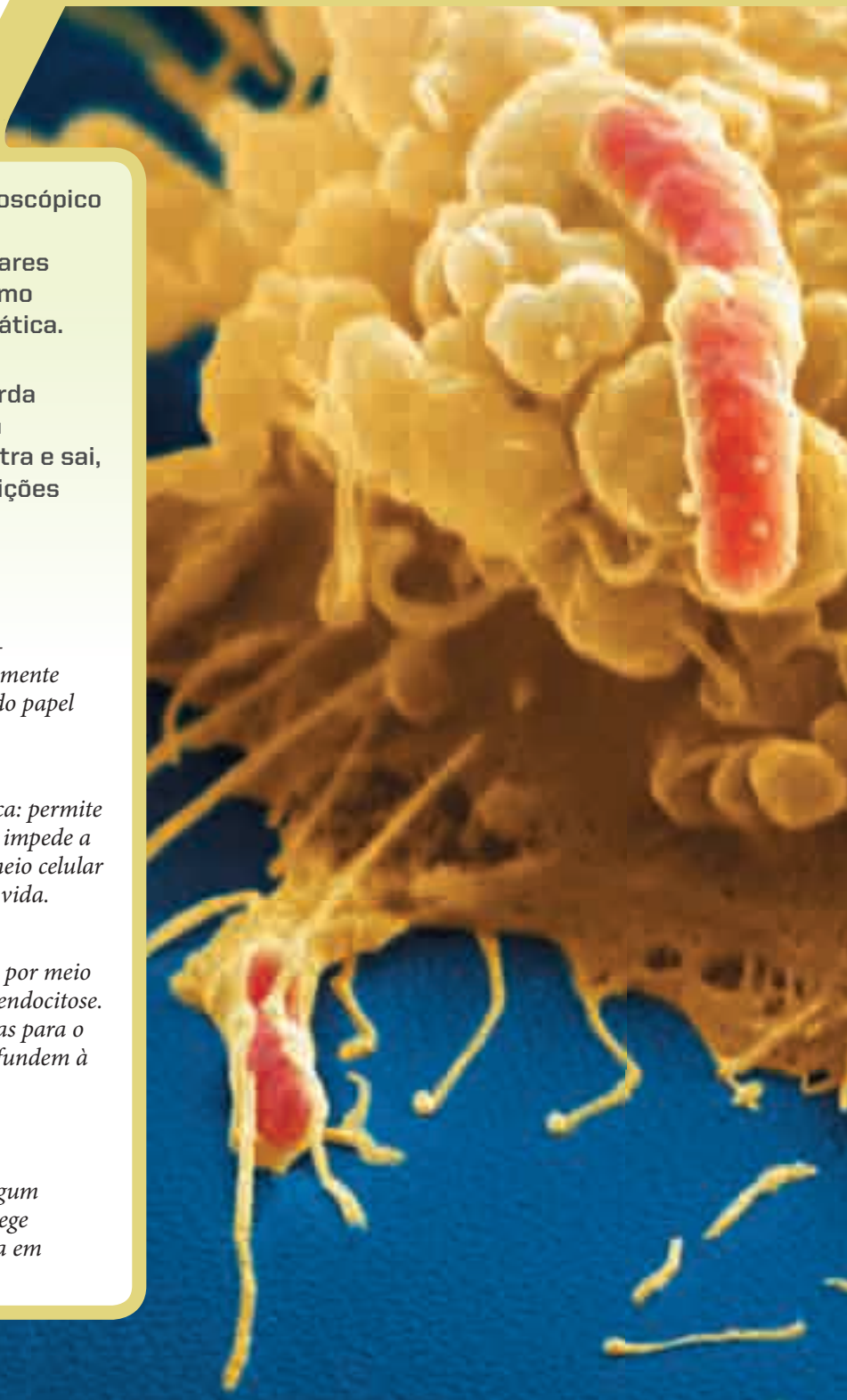
A membrana plasmática é dinâmica: permite a passagem de certas substâncias e impede a passagem de outras, mantendo o meio celular interno diferenciado e adequado à vida.

› 5.3 Endocitose e exocitose

A entrada de substâncias na célula por meio de invaginações da membrana é a endocitose. A saída de estruturas ou substâncias para o exterior por meio de bolsas que se fundem à membrana é a exocitose.

› 5.4 Envoltórios externos à membrana plasmática

A maioria das células apresenta algum tipo de envoltório externo que protege a membrana plasmática e a auxilia em algumas funções.





Fotomicrografia ao microscópio eletrônico de varredura de um macrófago do sangue humano (em amarelo) capturando bactérias (bastonetes, em rosa). A membrana do macrófago forma expansões chamadas de pseudópodes, que englobam as bactérias em um processo denominado fagocitose (aumento $\approx 18.000\times$, colorizada artificialmente).

» Habilidades sugeridas

- ▶ Reconhecer que conhecimentos específicos, como a estrutura e as propriedades das membranas biológicas, por exemplo, podem ser importantes para o avanço da ciência e para o desenvolvimento de tecnologias úteis à humanidade.
- ▶ Conhecer a composição molecular básica da membrana plasmática, compreendendo o significado do modelo do mosaico fluido que explica sua estrutura e propriedades.

» Conceitos principais

- membrana plasmática
- modelo do mosaico fluido

Membrana plasmática

Características gerais da membrana plasmática

As pesquisas citológicas revelaram que a célula viva é um compartimento microscópico isolado do ambiente por uma finíssima película, a **membrana plasmática**, constituída basicamente por fosfolipídios e proteínas. A membrana é uma estrutura dinâmica, que permite a passagem de certas substâncias mas impede a passagem de outras, mantendo o meio celular interno adequado à vida.

Apesar de muito fina – cerca de 5 nanômetros (nm) de espessura –, a membrana plasmática é extremamente complexa e versátil, desempenhando inúmeras funções. Por exemplo, os pigmeus africanos têm baixa estatura porque as membranas de suas células não contêm um tipo de proteína capaz de se combinar ao hormônio de crescimento, que eles produzem em quantidades normais.

Outra função importante da membrana plasmática revelou-se a partir do estudo da doença denominada diabetes melito, na qual a pessoa afetada tem altos níveis de glicose no sangue. No tipo mais comum de diabetes (tardio, ou do tipo II), as membranas celulares da pessoa diabética têm poucas proteínas receptoras para o hormônio insulina, necessário para que as células absorvam glicose. Na falta de receptores do hormônio, pouca glicose penetra nas células e o nível desse açúcar eleva-se no sangue, causando o quadro clínico do diabetes melito. O conhecimento desses fatos poderá contribuir para a descoberta de tratamentos mais eficazes ou, até mesmo, a cura para essa doença.

Organização molecular da membrana plasmática

Os componentes mais abundantes das membranas celulares são fosfolipídios e proteínas; por isso, costuma-se dizer que a constituição da membrana plasmática é lipoproteica. Além desses componentes, as membranas das células animais também contêm colesterol.

Modelo do mosaico fluido

Estudos recentes indicam que as moléculas de fosfolipídios da membrana plasmática dispõem-se lado a lado, como pessoas em uma multidão. Os fosfolipídios deslocam-se continuamente, mas sem perder o contato uns com os outros, como se dançassem trocando de par o tempo todo, o que confere grande dinamismo às membranas biológicas. As proteínas da membrana estão incrustadas na dupla lâmina de fosfolipídios, como peças globulares de um mosaico, que se destacam na estrutura homogênea de fosfolipídios. Algumas das proteínas estão aderidas superficialmente à membrana, ao passo que outras mergulham na camada dupla de fosfolipídios, atravessando a membrana de lado a lado. Muitas proteínas também podem movimentar-se paralelamente ao plano da membrana.

Esse modelo para explicar a estrutura da membrana plasmática, comparando-a a um mosaico molecular em constante modificação, foi proposto originalmente em 1972 pelos pesquisadores S. Jonathan Singer e Garth L. Nicholson e apropriadamente chamado de **modelo do mosaico fluido**. (Fig. 5.1)

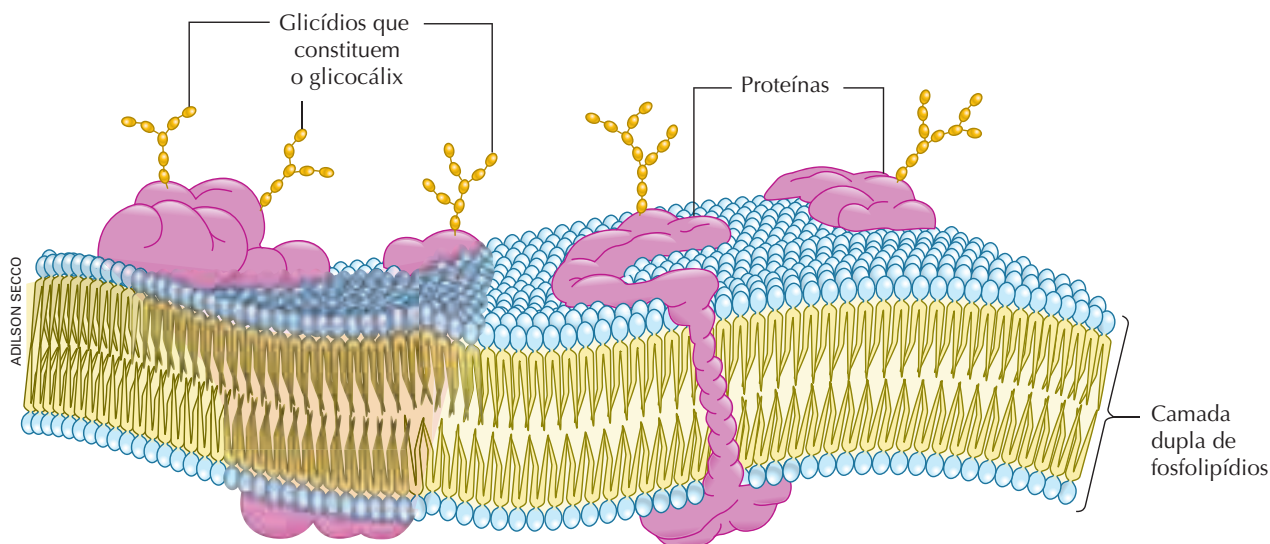
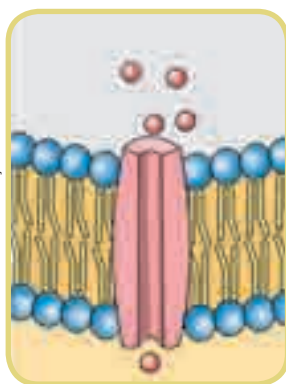


Figura 5.1 Representação esquemática da membrana plasmática segundo o modelo do mosaico fluido. [Imagem sem escala, cores-fantasia.]

Funções das proteínas da membrana plasmática

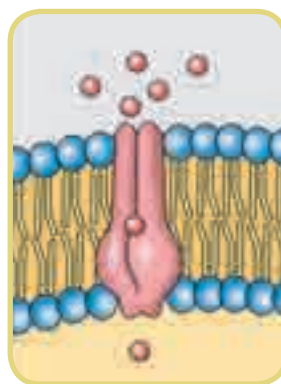
Já foram identificados mais de 50 tipos de proteína nas membranas celulares. Algumas delas formam poros que permitem unicamente a passagem de moléculas de água. Outras capturam substâncias fora ou dentro da célula, transportando-as através da membrana e soltando-as do outro lado. Outras proteínas, ainda, reconhecem a presença de certas substâncias no meio, alertando a célula e estimulando-a a reagir. Este é o caso dos receptores hormonais que muitas células apresentam em sua membrana, como foi mencionado no exemplo do diabetes melito. (**Fig. 5.2**)

ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO



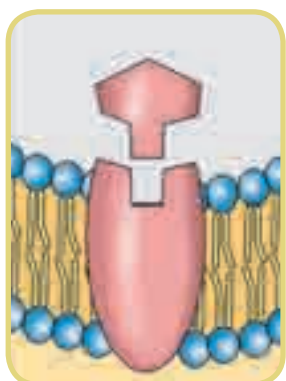
Canal de proteína

Permite que certas moléculas e íons atravessem a membrana plasmática livremente.



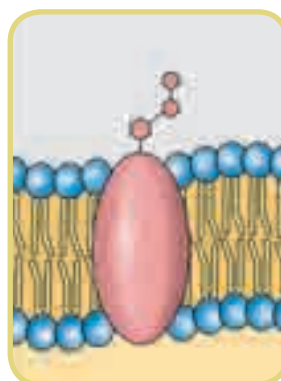
Proteína carregadora

Interage especificamente com certas moléculas e certos íons carregando-os através da membrana plasmática.



Proteína receptora

Permite a ligação com certas moléculas sinalizadoras, que desencadeiam processos celulares.



Proteína de reconhecimento

Permite que uma célula reconheça outra e interaja com ela.

Figura 5.2 Representação esquemática de algumas funções de proteínas presentes na membrana plasmática. [Imagens sem escala, cores-fantasia.] (Baseado em Campbell, N. e cols., 1999.)

Permeabilidade celular

Habilidades sugeridas

- Compreender os princípios físico-químicos que regem a difusão e a osmose, aplicando-os para explicar processos que ocorrem em células vivas.
- Compreender como os processos de difusão simples, difusão facilitada e transporte ativo contribuem para a entrada ou saída de substâncias na célula.

Conceitos principais

- **semipermeabilidade**
 - **difusão simples**
 - **osmose**
- **solução hipertônica**
- **solução hipotônica**
- **solução isotônica**
- **vacúolo pulsátil**
- **difusão facilitada**
- **bomba de sódio-potássio**

Passagem de substâncias pela membrana plasmática

A membrana plasmática é de fundamental importância para a vida, uma vez que contém e delimita o espaço interno da célula, isolando-o do ambiente ao redor. Esse isolamento, porém, não é absoluto, pois, para viver, a célula precisa permitir a entrada de certas substâncias úteis – água, gás oxigênio, alimento etc. – e a saída de outras, principalmente gás carbônico e substâncias tóxicas geradas no metabolismo celular. Por permitir a passagem de certas substâncias, mas não de outras, diz-se que a membrana plasmática apresenta **semipermeabilidade**, ou permeabilidade seletiva.

Certas substâncias podem atravessar a membrana espontaneamente, sem que a célula gaste energia com isso; é o que se chama de **transporte passivo**. A membrana também é capaz de absorver ou de expulsar ativamente certas substâncias, bombeando-as para dentro ou para fora da célula, gastando energia para isso. Nesse caso, fala-se em **transporte ativo**.

Transporte passivo

Difusão simples

Certas substâncias entram e saem da célula espontaneamente por um processo passivo de transporte denominado **difusão simples**. A difusão é explicada pelo fato de todas as partículas materiais (átomos, moléculas, íons etc.) estarem em constante movimento. Devido a essa movimentação contínua e casual, as partículas tendem a se espalhar, isto é, a se difundir. A difusão sempre ocorrerá da região em que as partículas estão mais concentradas (isto é, em quantidade relativamente maior) para regiões em que sua concentração é menor. Por exemplo, quando uma gota de leite é colocada em uma xícara de café, as partículas de leite espalham-se espontaneamente para as regiões em que sua concentração é baixa, isto é, para o café ao redor. O mesmo ocorre com as partículas de café, que invadem a gota de leite. O resultado dessa difusão será que as partículas de leite ficarão homogeneamente espalhadas entre as de café e sua concentração será a mesma em todos os pontos da xícara.

Há duas condições para que as partículas de uma substância entrem ou saiam da célula por difusão: 1) a membrana deve ser permeável a essa substância; 2) deve haver diferença na concentração da substância dentro e fora da célula. Por exemplo, a entrada de gás oxigênio (O_2) em nossas células ocorre por difusão simples. Como as células estão sempre consumindo O_2 em sua respiração, a concentração desse gás no interior celular é sempre baixa. Por outro lado, no líquido que banha as células, proveniente do sangue, a concentração de O_2 é relativamente mais alta, pois esse gás é continuamente absorvido pelo sangue que passa pelos pulmões. Como a membrana plasmática é permeável às moléculas de O_2 , esse gás simplesmente se difunde para dentro das células.

O gás carbônico (CO_2) faz o caminho inverso também por difusão simples. As células estão sempre produzindo CO_2 na respiração, o que faz com que a concentração desse gás seja sempre maior no interior da célula que no meio externo. Por isso, o CO_2 difunde-se das células para a corrente sanguínea. Quando o sangue passa pelos pulmões, as moléculas desse gás difundem-se para o ar e são eliminadas do corpo. (Fig. 5.3)

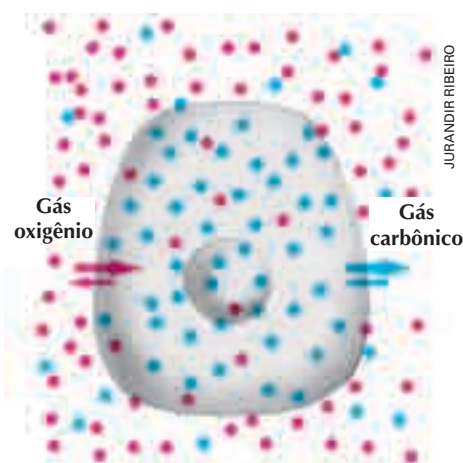


Figura 5.3 Representação esquemática das trocas de gases por difusão simples entre a célula e o ambiente. (Imagem sem escala, cores-fantasia.)

Osmose

Se mergulhássemos uma célula animal em água pura, ela absorveria água sem controle, inchando até estourar (lise celular). Por outro lado, se a célula fosse mergulhada em uma solução altamente concentrada de sacarose, ela perderia água e murcharia. Como se explicam esses fenômenos?

Em ambas as situações ocorre a **osmose**, um caso especial de difusão em que apenas a água, o solvente das soluções biológicas, difunde-se através da membrana semipermeável das células. O citoplasma é uma solução aquosa, em que a água é o **solvente** e as moléculas dissolvidas no citosol (glicídios, proteínas, sais etc.) são os **solutos**. Quando uma de nossas células é colocada em água pura, a concentração externa desse solvente é necessariamente maior que sua concentração no interior da célula, em que a água divide o espaço com as moléculas de soluto citoplasmáticas. Consequentemente, a água tende a se difundir em maior quantidade para o interior celular que no sentido inverso, fazendo a célula inchar. Apenas a água se difunde porque a membrana plasmática, sendo semipermeável, impede ou dificulta a passagem de solutos, mas permite a livre passagem de moléculas de solvente. Osmose é precisamente essa difusão diferencial apenas de água através da membrana. Em outras palavras, na osmose apenas o solvente se difunde, ou o faz em taxa muitíssimo maior que a difusão dos solutos.

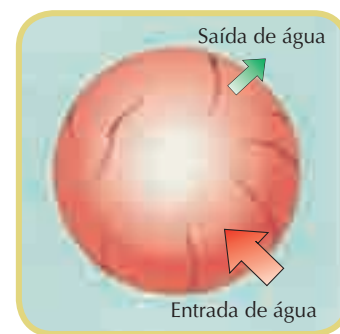
Se uma célula for colocada em uma solução concentrada de sacarose, por exemplo, haverá maior difusão de água de dentro para fora da célula, fazendo-a murchar. A explicação é que o meio externo, por ser mais concentrado em solutos, apresenta quantidade relativamente menor de água e esta tende a sair em maior quantidade da célula.

Quando se comparam duas soluções quanto à concentração, diz-se que a solução mais concentrada em solutos é **hipertônica** (do grego *hyper*, superior) em relação a uma outra, denominada solução **hipotônica** (do grego *hypo*, inferior). Quando duas soluções apresentam a mesma concentração de solutos, elas são chamadas de **isotônicas** (do grego *iso*, igual, semelhante). Na osmose, portanto, a difusão da água é mais intensa da solução hipotônica para a hipertônica. (Fig. 5.4)

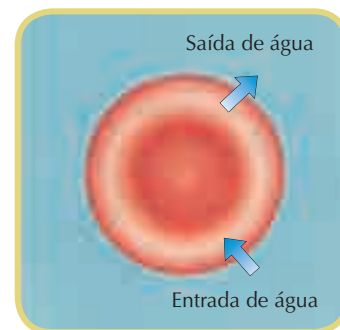
As células de nosso corpo são banhadas por uma solução isotônica proveniente do sangue, na qual a concentração total de solutos equivale à concentração interna dos solutos citoplasmáticos. Por isso, nossas células não ganham nem perdem água por osmose. Por outro lado, seres como protozoários de água doce têm o citoplasma hipertônico em relação ao meio externo, de modo que a água tende a entrar continuamente em sua célula por osmose. Esses seres não estouram porque dispõem de um mecanismo para compensar a entrada excessiva de água: eles têm bolsas citoplasmáticas, chamadas de **vacúolos pulsáteis**, que acumulam água e a eliminam periodicamente da célula. Protozoários marinhos não enfrentam problemas osmóticos, pois a água do mar é praticamente isotônica em relação ao seu citoplasma. (Fig. 5.5)

Figura 5.5 Micrografia de um protozoário (*Frontonia* sp.) vivo ao microscópio óptico; veem-se o vacúolo pulsátil e os canais coletores de água (aumento $\approx 290\times$).

A Solução hipotônica



B Solução isotônica

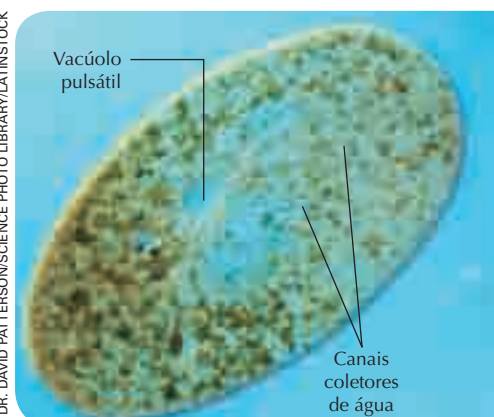


C Solução hipertônica



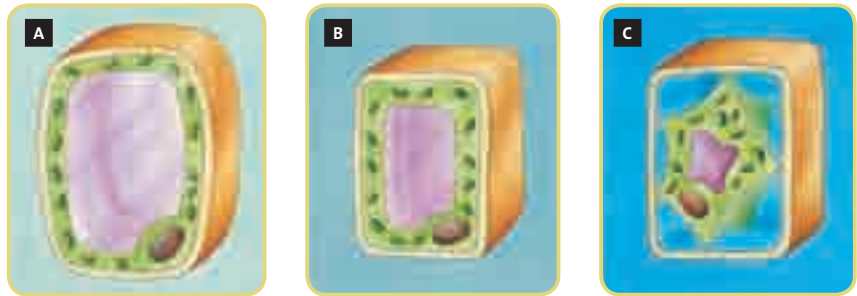
Figura 5.4 Representação esquemática do comportamento de uma célula animal (uma hemácia) em soluções de diferentes concentrações. A espessura das setas indica o volume relativo de água que atravessa a membrana da hemácia. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)

DR. DAVID PATTERSON/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK



As plantas aproveitam o potencial da osmose para absorver água e nutrientes. Graças a suas paredes celulósicas altamente resistentes, as células vegetais não correm o risco de estourar devido à osmose. Veja o comportamento de uma célula vegetal em soluções de diferentes concentrações na **Figura 5.6**.

Figura 5.6 Representação esquemática de células vegetais colocadas em soluções de diferentes concentrações. Em **A**, solução hipotônica. Em **B**, solução isotônica. Em **C**, solução hipertônica. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)



ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO

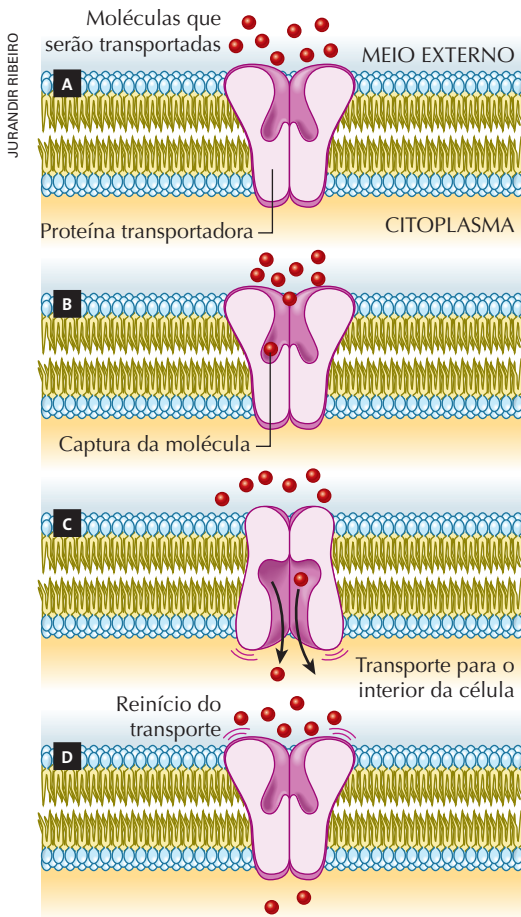


Figura 5.7 Representação esquemática da difusão facilitada por proteínas transportadoras. **A**. Proteína transportadora incrustada na membrana e moléculas a serem transportadas. **B**. Ao tocarem na proteína transportadora, as moléculas são capturadas. **C**. A proteína transportadora muda de forma, carregando as moléculas capturadas para a face interna da membrana. **D**. As moléculas transportadas são liberadas dentro da célula e a proteína transportadora readquire sua configuração original, voltando a se expor na face externa da membrana, à espera de novas moléculas "passageiras". (Imagens sem escala, cores-fantasia.) (Baseado em Lodish, H. e cols., 2005.)

Difusão facilitada

As células de nosso corpo são banhadas por um líquido isotônico proveniente do sangue, que contém água, gás oxigênio, glicídios (principalmente glicose), aminoácidos, íons e diversas outras substâncias. Poucos tipos de molécula, por exemplo, O_2 , CO_2 etc., e praticamente nenhum tipo de íon conseguem atravessar, em quantidades apreciáveis, a camada dupla de lipídios que constitui as membranas plasmáticas. Assim, o transporte da maioria das moléculas e dos íons para dentro e para fora da célula necessita da participação de proteínas componentes da membrana plasmática.

Algumas proteínas da membrana plasmática formam canais, através dos quais moléculas de água, certos tipos de íons e pequenas moléculas hidrofílicas se deslocam de acordo com seu gradiente de concentração, ou seja, da região onde a concentração é maior para a região onde a concentração é menor. Outras proteínas da membrana transportam moléculas específicas, capturando-as fora ou dentro da célula e liberando-as na face oposta. Elas são denominadas proteínas transportadoras, proteínas carregadoras, proteínas carreadoras ou permeases.

O transporte realizado por essas proteínas transportadoras segue as regras da difusão: se as substâncias transportadas estão em maior concentração no meio externo, sua tendência natural é entrar na célula, onde estão menos concentradas. As proteínas transportadoras facilitam essa entrada e a célula não gasta energia com isso. O transporte facilitado por essas proteínas da membrana plasmática é denominado **difusão facilitada** e também é um tipo de transporte passivo. (Fig. 5.7)

Transporte ativo

Bomba de sódio-potássio

As células vivas mantêm a concentração interna de moléculas e íons bem diferente das concentrações dessas substâncias no meio externo. Por exemplo, as células humanas mantêm a concentração interna de íons de potássio (K^+) cerca de 20 a 40 vezes maior que no meio extracelular. O íon K^+ é essencial a diversos processos celulares, participando, por exemplo, da síntese de proteínas e da respiração celular. Por outro lado, a concentração de íons de sódio (Na^+) no interior de nossas células mantém-se cerca de 8 a 12 vezes menor que a do exterior; uma das principais razões para isso é a necessidade de compensar a grande concentração interna de íons K^+ .

Para manter as diferenças entre as concentrações interna e externa desses íons, a célula despense energia, o que caracteriza o transporte ativo. Proteínas presentes na membrana plasmática atuam como “bombas” de íons, capturando ininterruptamente íons de sódio (Na^+) no citoplasma e transportando-os para fora da célula. Na face externa da membrana, essas proteínas capturam íons de potássio (K^+) do meio e os transportam para o citoplasma. Esse bombeamento contínuo, conhecido como **bomba de sódio-potássio**, compensa a incessante passagem desses íons por difusão simples.

O bombeamento de íons consome energia da célula, fornecida às proteínas transportadoras pelo trifosfato de adenosina, substância mais conhecida pela sigla de seu nome em inglês ATP (*adenosine triphosphate*). As moléculas de ATP, como veremos nos capítulos seguintes, são as fornecedoras de energia para todas as atividades celulares. Ao liberar energia, a molécula de ATP decompõe-se em uma molécula de adenosina difosfato (ADP) e em um grupo fosfato (P). (Fig. 5.8)

JUPANDIR RIBEIRO

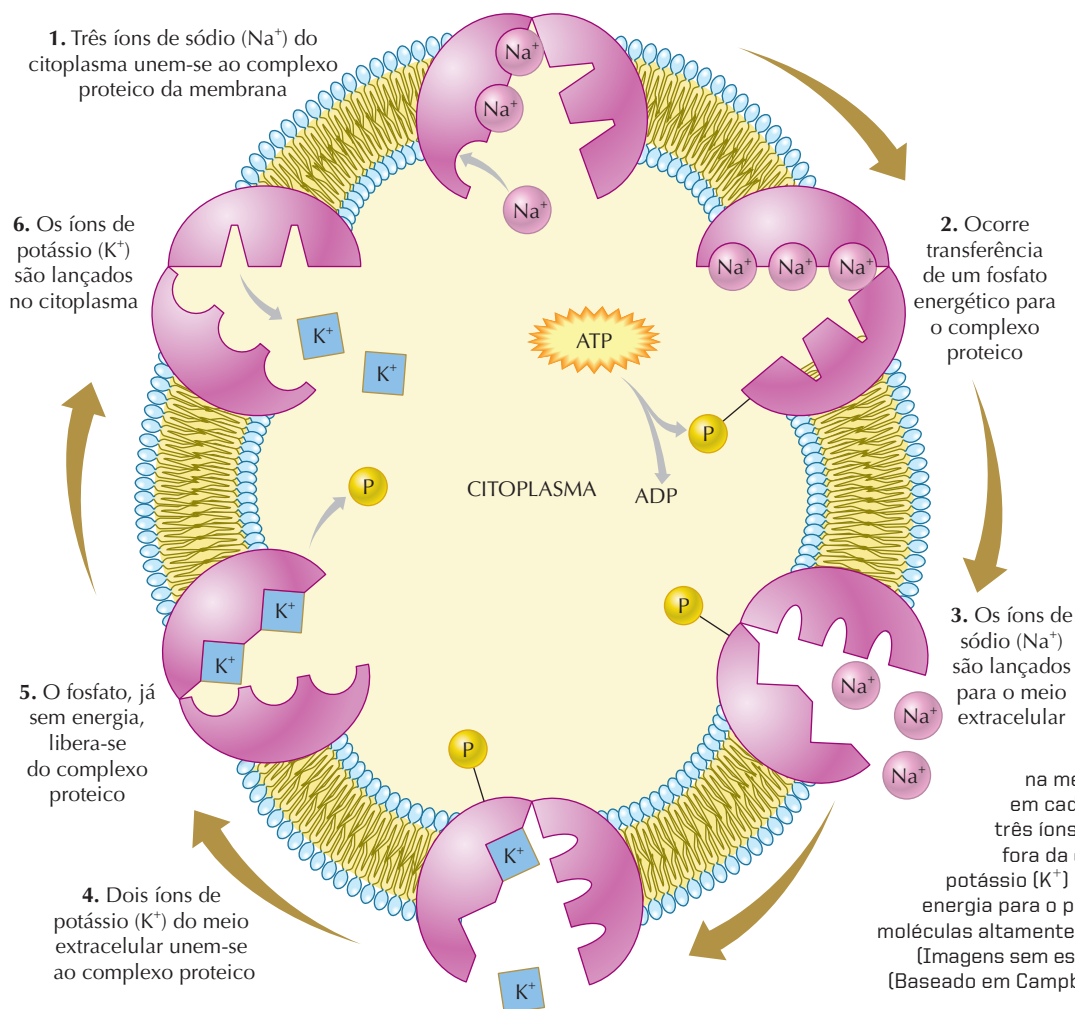


Figura 5.8

Representação esquemática do funcionamento da bomba de sódio-potássio, um processo de transporte ativo. Um complexo proteico incrustado na membrana transporta, em cada ciclo de atividade, três íons de sódio (Na^+) para fora da célula e dois íons de potássio (K^+) para o citoplasma. A energia para o processo provém das moléculas altamente energéticas do ATP. (Imagens sem escala, cores-fantasia.) (Baseado em Campbell, N. e cols., 1999.)

A manutenção das diferenças de concentração dos íons K^+ e Na^+ [e de outros íons] dentro e fora da célula é fundamental para o funcionamento celular. A diferença na distribuição iônica, entre outros fatores, faz com que a superfície externa da membrana plasmática apresente excesso de cargas positivas em relação à superfície interna. Isso gera uma diferença de potencial elétrico da ordem de 70 mV (milivolts).

Grande parte dos processos celulares baseia-se justamente nessa propriedade da membrana em atuar como um capacitor elétrico: sendo constituídas por moléculas não condutoras de eletricidade (lipídios), as membranas biológicas podem armazenar cargas elétricas positivas de um lado e negativas do outro. Como a célula pode controlar a passagem de íons pela membrana, por meio da abertura e fechamento de poros, ela consegue provocar alterações desse potencial elétrico, gerando trabalho.

Você está conseguindo ver este livro porque poros de passagem de íons estão continuamente se abrindo e se fechando nas membranas plasmáticas de suas células nervosas, permitindo que elas captem estímulos do ambiente e os transmitam ao cérebro, onde são interpretados. Isso nos dá uma ideia da importância das membranas celulares para a nossa vida.



» Habilidade sugerida

► Compreender e esquematizar os processos de endocitose (fagocitose e pinocitose) e de exocitose, respectivamente responsáveis pela entrada e saída de partículas e substâncias na célula.

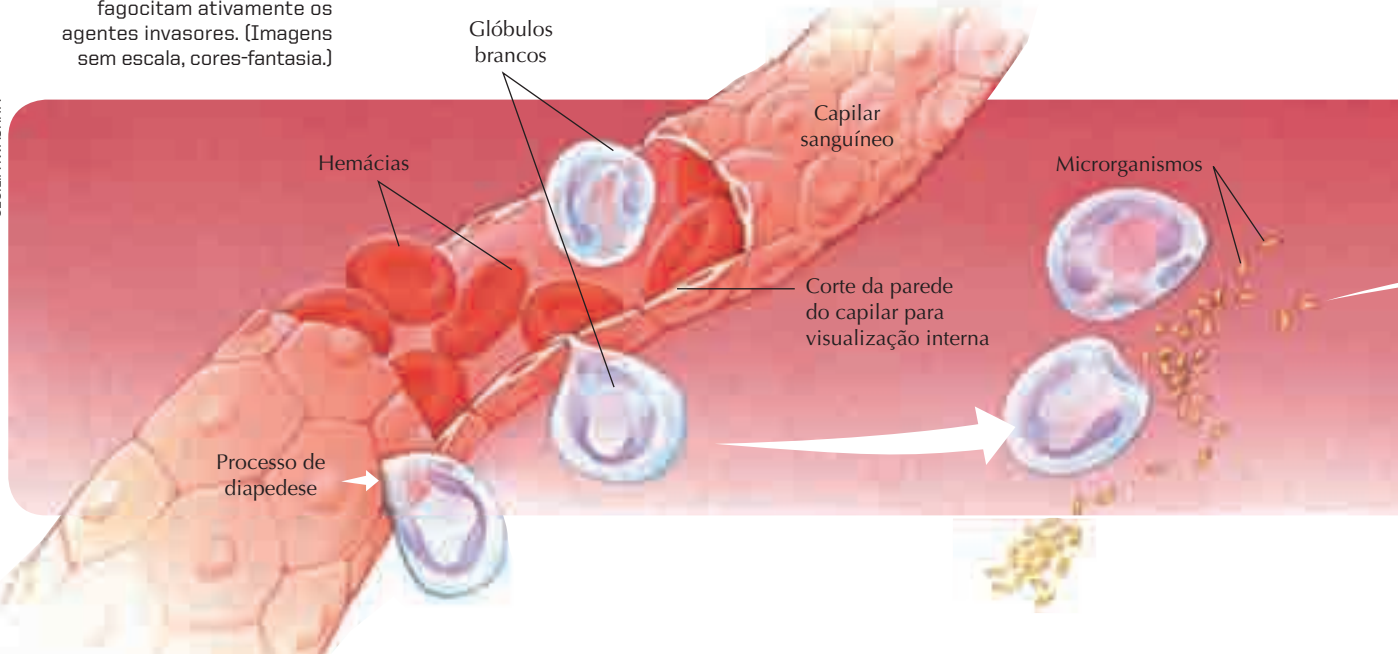
» Conceitos principais

- endocitose
- exocitose
- fagocitose
- pinocitose

Figura 5.9

Representação esquemática do papel da fagocitose na proteção corporal. Quando há uma infecção bacteriana em nosso corpo, certos tipos de glóbulos brancos saem dos capilares sanguíneos (diapedese) e se deslocam até o local infectado, onde fagocitam ativamente os agentes invasores. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)

CECILIA IWASHITA



Endocitose e exocitose

O transporte por meio de bolsas membranosas

Certas substâncias entram e saem das células por meio de bolsas que se formam na membrana plasmática, processo bastante distinto dos transportes passivo e ativo que vimos anteriormente. Materiais de que a célula necessita, por exemplo, podem ser capturados em bolsas formadas por invaginações da membrana, processo denominado **endocitose** (do grego *endos*, dentro, e *kytos*, célula). Por outro lado, algumas células podem eliminar estruturas ou substâncias para o meio externo por meio de bolsas que se fundem à membrana, processo denominado **exocitose** (do grego *exos*, fora, e *kytos*, célula).

Endocitose

Os citologistas costumam distinguir dois tipos básicos de endocitose: fagocitose e pinocitose.

Fagocitose

Fagocitose (do grego *phagein*, comer, e *kytos*, célula) é um processo em que a célula emite expansões citoplasmáticas denominadas **pseudópodes**; estes “abraçam” a partícula a ser englobada, envolvendo-a totalmente em uma bolsa membranosas, que se desprende da membrana e passa a circular no citoplasma. A bolsa contendo o material capturado recebe o nome de **fagossomo** (do grego *phagein*, comer, e *soma*, corpo), termo que significa “corpo ingerido”.

Entre as células que fazem fagocitose destacam-se os protozoários, que utilizam o processo em sua alimentação. Alguns tipos de células animais também fazem fagocitose, não para se alimentar, mas para defender o corpo da invasão por microrganismos e para eliminar estruturas corporais desgastadas pelo uso. Por exemplo, quando nosso corpo é invadido por bactérias, a primeira defesa corporal ocorre por fagocitose. Determinados tipos de células do sangue, os macrófagos e os neutrófilos, saem dos vasos sanguíneos e deslocam-se até o local da infecção, onde passam a fagocitar ativamente os invasores, digerindo-os e eliminando-os. (Fig. 5.9)

Pinocitose

Pinocitose (do grego *pinein*, beber) é um processo de englobamento de líquidos e de pequenas partículas que ocorre em praticamente todos os tipos de células. Uma célula humana é capaz de englobar, por dia, quantidades de líquido superiores a várias vezes seu próprio volume, algo equivalente a uma pessoa de 70 kg beber 200 litros de líquido por dia.

No processo de pinocitose, a membrana plasmática aprofunda-se no citoplasma e forma um canal que se estrangula nas bordas, liberando pequenas vesículas membranosas no interior da célula. As bolsas citoplasmáticas que contêm o material englobado por pinocitose são chamadas **pinossomos** (do grego *pinein*, beber, e *soma*, corpo). A pinocitose é o meio pelo qual as células do revestimento interno do intestino capturam gotículas de lipídios do alimento digerido; além disso, a maioria de nossas células engloba, por pinocitose, partículas de LDL (complexo transportador de lipídios de baixa densidade) para aproveitar o colesterol na produção de suas membranas. (Fig. 5.10)

Como veremos no próximo capítulo, tanto fagossomos quanto pinossomos podem fundir-se a bolsas citoplasmáticas que contêm enzimas digestivas, os chamados lisossomos. Nas bolsas resultantes dessa fusão, o material englobado do exterior é digerido pelas enzimas lisossômicas.

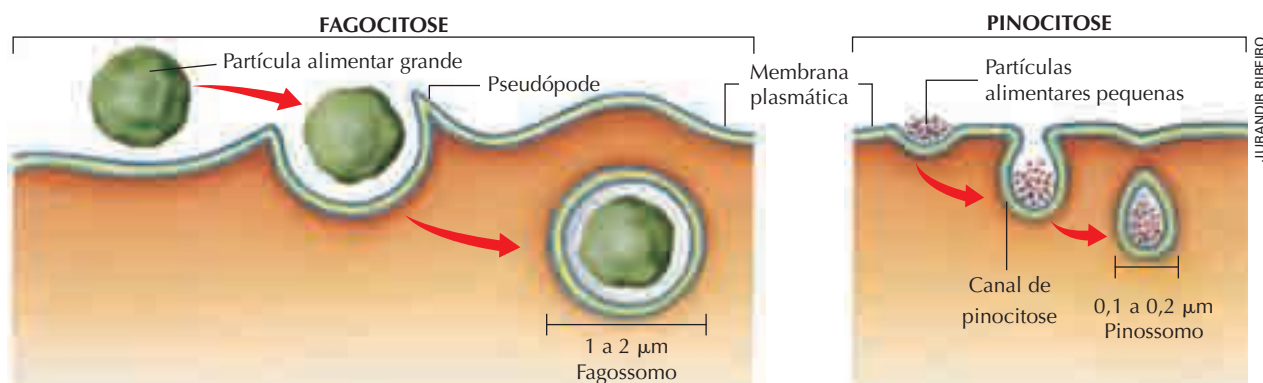
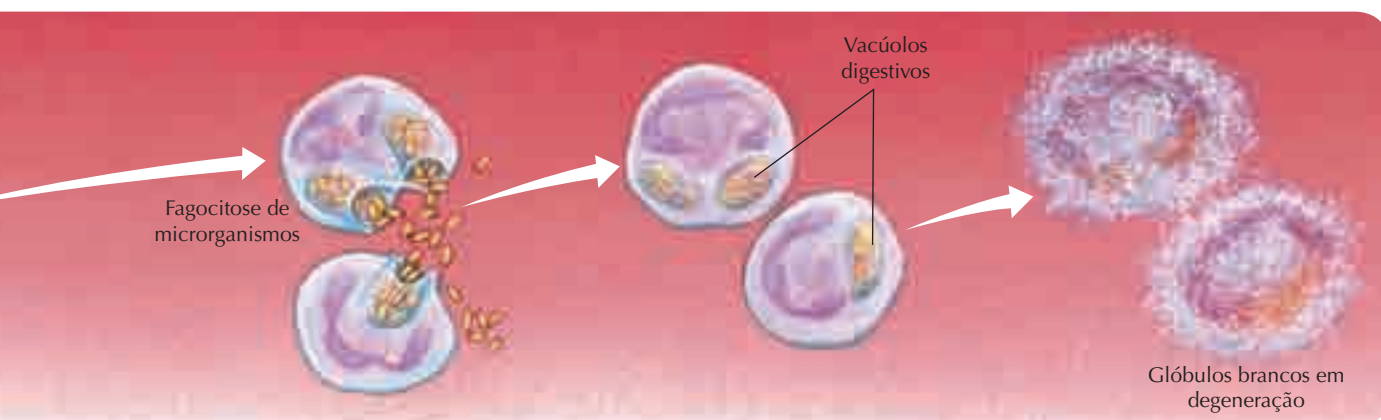


Figura 5.10 Representação esquemática de cortes na borda de uma célula, mostrando a fagocitose e a pinocitose. As principais diferenças entre os dois processos são o modo de captura e o tamanho das partículas capturadas. [Imagens sem escala, cores-fantasia.]

Exocitose

Certas substâncias que devem ser eliminadas da célula são temporariamente armazenadas no interior de bolsas citoplasmáticas membranosas. Tais bolsas aproximam-se da membrana plasmática e fundem-se a ela, expelindo seu conteúdo. Esse processo é chamado **exocitose** (do grego *exos*, fora). É por meio da exocitose que certos tipos de célula eliminam os restos da digestão intracelular. A exocitose é também o processo pelo qual células glandulares secretam seus produtos.



» Habilidade sugerida

► Conhecer a constituição básica e as funções do glicocálix de células animais e da parede celular de células vegetais.

» Conceitos principais

- glicocálix
- parede celulósica
- plasmodesmo

Envoltórios externos à membrana plasmática

A membrana plasmática é relativamente frágil e na maioria das células é protegida por algum tipo de envoltório externo, que também a auxilia em suas funções. Um desses envoltórios é o glicocálix, presente na maioria das células animais e também em certos protozoários; outros tipos de envoltório são as paredes celulares, presentes em células de diversos organismos, como bactérias, fungos, certos protozoários, algas e plantas. Nas algas e nas plantas, a parede celular é constituída fundamentalmente pelo polissacarídeo celulose, sendo por isso denominada parede celulósica.

1 Glicocálix

As células animais podem apresentar um revestimento externo intimamente associado à membrana plasmática, constituído por glicídios unidos a lipídios (glicolipídios) e por glicídios ligados a proteínas (glicoproteínas e proteoglicanos). Os glicídios constituintes das glicoproteínas, dos glicolipídios e dos proteoglicanos se entrelaçam, formando uma espécie de malha protetora externa à membrana, chamada **glicocálix** (do grego *glikys*, açúcar, e do latim *calyx*, casca, envoltório). (Fig. 5.11)

O glicocálix é comparável a uma malha que envolve a célula e cria ao redor dela um ambiente diferenciado, importante para que certas células executem suas funções. Por exemplo, nas células da parede interna de nosso intestino delgado, o glicocálix retém enzimas responsáveis pela digestão de proteínas e dissacarídeos contidos no alimento. Aminoácidos e monossacarídeos resultantes dessa digestão são prontamente absorvidos pela membrana plasmática.

2 Paredes celulares

Parede bacteriana

A parede da célula bacteriana é uma estrutura complexa e resistente, responsável pela forma das bactérias. Sua principal função é evitar que a bactéria “estoure” quando submetida a ambientes hipotônicos. Do ponto de vista médico, o estudo da parede bacteriana é importante porque substâncias nela presentes levam certas espécies de bactéria a causar doenças. Além disso, alguns tipos de antibiótico são capazes de impedir que as bactérias produzam a parede celular, o que causa sua morte; a penicilina, por exemplo, atua dessa forma sobre certos tipos de bactéria.

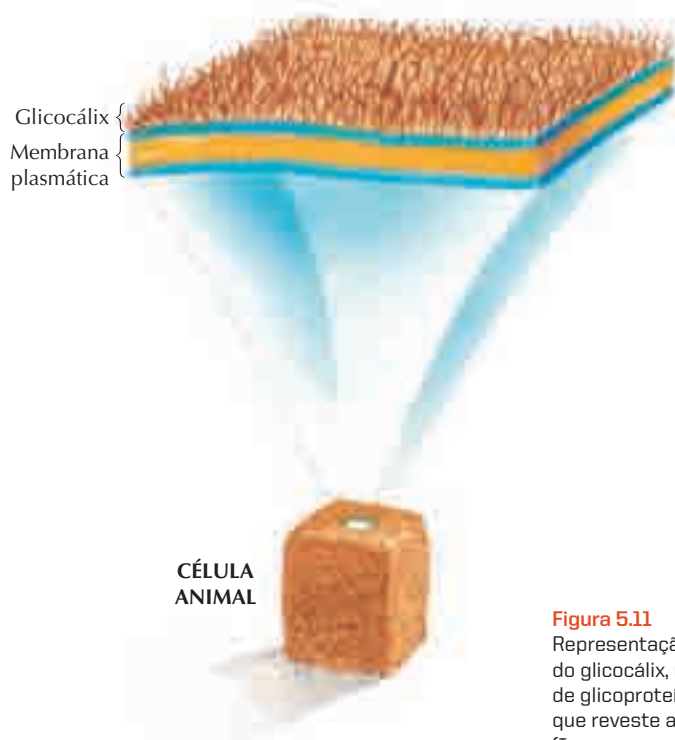


Figura 5.11
Representação esquemática do glicocálix, uma malha de moléculas de glicoproteínas e de glicolipídios que reveste a maioria das células animais. (Imagem sem escala, cores-fantasia.)

Parede celular

As células vegetais têm um envoltório externo espesso e resistente, denominado **parede celular**. Nas células vegetais jovens há apenas uma parede fina e flexível, a parede primária, elástica o suficiente para permitir o crescimento celular. Depois que a célula vegetal atinge seu tamanho definitivo, forma-se, internamente à parede primária, um envoltório mais espesso e mais rígido, a parede secundária. Esta pode conter outros tipos de componentes além da celulose, como a lignina (um polímero constituído por unidades fenólicas) e a suberina (um tipo de lipídio). A principal função das paredes das células vegetais é dar rigidez ao corpo das plantas, atuando na sustentação esquelética; por isso, a parede celular também é chamada de membrana esquelética celular. (Fig. 5.12)

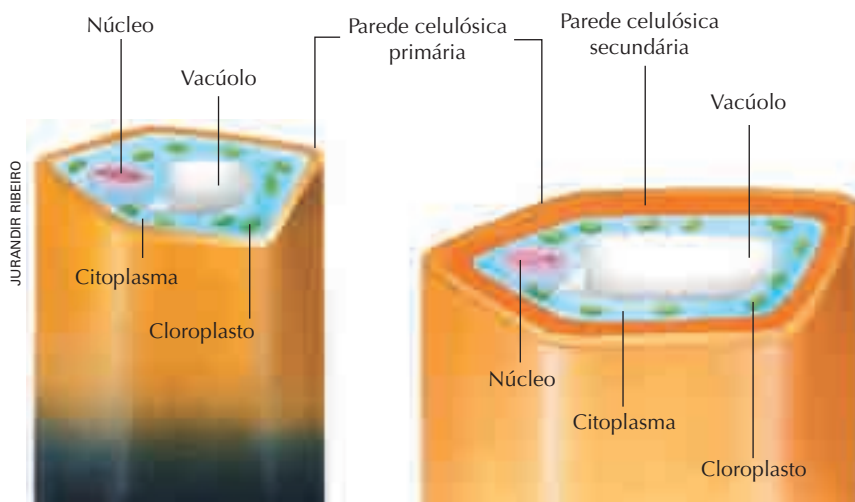


Figura 5.12 Representação esquemática de células vegetais em corte, mostrando paredes celulares primária e secundária. [Imagens sem escala, cores-fantasia.]

A parede das células vegetais é constituída por longas e resistentes microfibrilas do polissacarídeo celulose. Essas microfibrilas mantêm-se unidas graças a uma matriz formada por glicoproteínas (proteínas ligadas a açúcares), hemicelulose e pectina (polissacarídeos). A estrutura molecular da parede celular pode ser comparada ao concreto armado, em que longas e resistentes varas de ferro estão mergulhadas em uma argamassa de cimento e pedras; as microfibrilas de celulose correspondem às varas de ferro do concreto, enquanto as glicoproteínas e os polissacarídeos da matriz correspondem à argamassa. (Fig. 5.13)

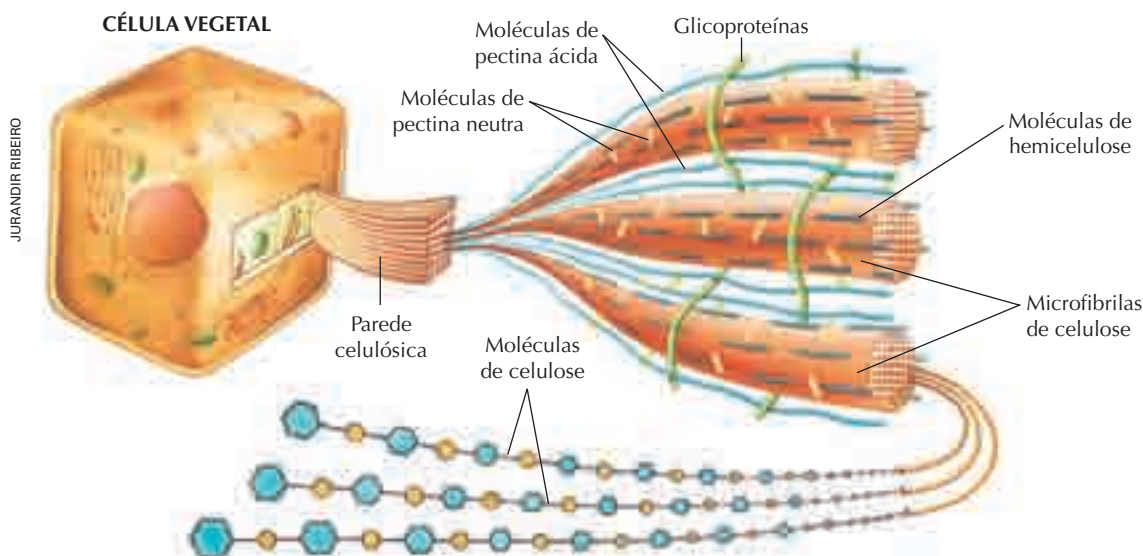


Figura 5.13 Representação esquemática da estrutura molecular da parede celular. [Imagem sem escala, cores-fantasia.] [Baseado em Alberts, B. e cols., 2004.]

Plasmodesmos

Paredes de células vegetais adjacentes apresentam poros, por onde o citoplasma de células vizinhas se comunica, formando uma continuidade. Essas pontes citoplasmáticas que comunicam células vegetais adjacentes são denominadas **plasmodesmos**. Eles se formam entre células-irmãs ao final da divisão celular. (Fig. 5.14)

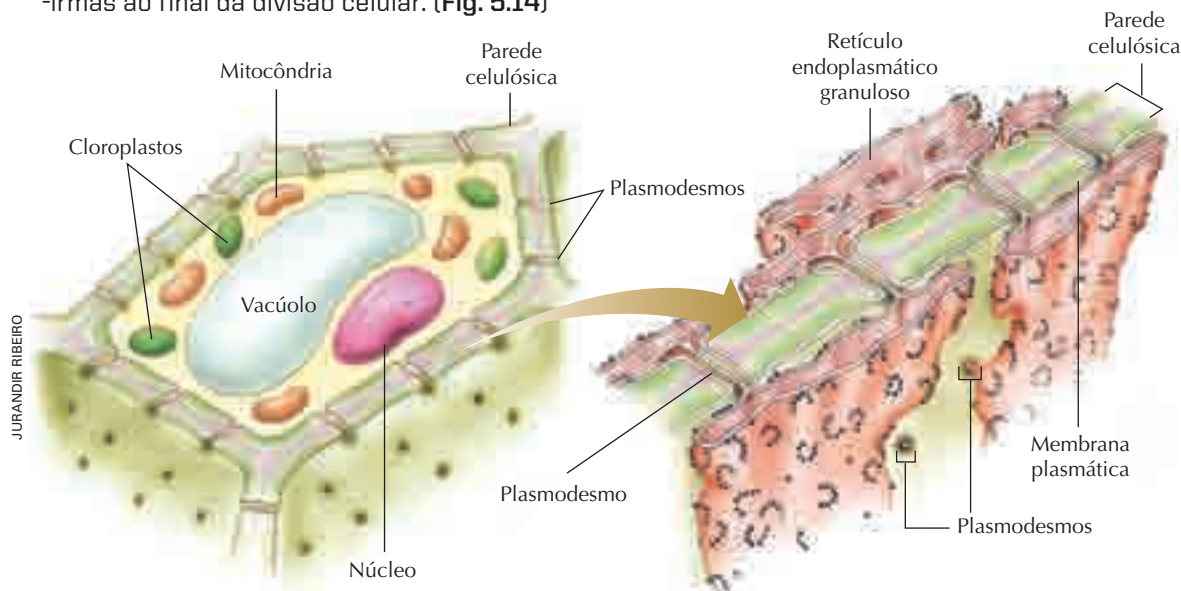


Figura 5.14 Representação esquemática de um corte de células vegetais adjacentes, mostrando as pontes citoplasmáticas (plasmodesmos) entre elas. No detalhe, estrutura dos plasmodesmos ilustrada a partir de micrografias ao microscópio eletrônico de transmissão. Note a continuidade da membrana plasmática em células vizinhas e, também, as bolsas do retículo endoplasmático que passam através dos plasmodesmos. (Imagens sem escala, cores-fantasia.) [Baseado em Raven, P. e cols., 2007.]

ATIVIDADES

Escreva as respostas no caderno

QUESTÕES PARA PENSAR E DISCUTIR

Questões objetivas

Utilize os termos a seguir para responder às questões de 1 a 4.

- a) Difusão simples.
 - b) Difusão facilitada.
 - c) Osmose.
 - d) Permeabilidade seletiva.
1. A propriedade de a membrana plasmática deixar passar certas substâncias e impedir a passagem de outras recebe que denominação?
 2. Como se denomina a passagem de substâncias através da membrana plasmática, sem necessidade de proteínas transportadoras?
 3. Qual é a denominação da passagem de substâncias através da membrana plasmática, com o auxílio de proteínas transportadoras mas sem gasto de energia?
 4. Como se denomina a passagem apenas de água através de uma membrana semipermeável, em direção ao local de maior concentração de solutos?

Considere os termos a seguir para responder às questões de 5 a 8.

- a) Hipertônica.
 - b) Hipotônica.
 - c) Isotônica.
 - d) Transporte ativo.
 - e) Transporte passivo.
5. Como se denomina o processo de passagem de substâncias através da membrana plasmática quando não há gasto de energia por parte da célula?
 6. Qual é a denominação do processo de passagem de substâncias através da membrana plasmática quando há gasto de energia por parte da célula?
 7. Ao compararmos duas soluções, como denominamos a menos concentrada em solutos?
 8. Como é chamada uma solução com mesma concentração em solutos que outra?
 9. O mecanismo de transporte ativo de íons Na^+ e K^+ através da membrana plasmática, com gasto de energia, é chamado de
 - a) bomba de sódio-potássio.
 - b) difusão facilitada.
 - c) fagocitose.
 - d) osmose.

Considere os termos a seguir para responder às questões de 10 a 12.

- a) Membrana semipermeável.
- b) Modelo do mosaico fluido.
- c) Permease.

10. Qual é a denominação dada a uma proteína que facilita a difusão de certas substâncias através da membrana plasmática?
11. Qual termo se refere à passagem de solvente, mas não de solutos, através de uma membrana?
12. Como ficou conhecida a explicação para o arranjo das moléculas de fosfolipídios e proteínas na membrana plasmática?

Considere os termos a seguir para responder às questões 13 e 14.

- a) Transporte passivo.
- b) Fagocitose.
- c) Pinocitose.
- d) Osmose.

13. Como se denomina o ato de a célula englobar partículas relativamente grandes, com auxílio de pseudópodes?
14. Qual é a denominação para o ato de a célula englobar pequenas gotas de líquido extracelular por meio de canais membranosos que se aprofundam no citoplasma?
15. Bolsas membranosas que contêm substâncias capturadas por fagocitose e por pinocitose são chamadas, respectivamente, de
 - a) pseudópode e canal pinocitótico.
 - b) fagossomo e pinossomo.
 - c) pinossomo e fagossomo.
 - d) canal fagocitótico e pseudópode.

Considere os termos a seguir para responder às questões de 16 a 18.

- a) Glicocálix.
- b) Membrana plasmática.
- c) Parede celulósica.
- d) Parede bacteriana.

16. O que é um envoltório constituído basicamente por celulose, presente em células de plantas e de algas?
17. Como se denomina o envoltório semelhante a uma malha entrelaçada, formada por glicoproteínas e por glicolipídios, presente em células animais?
18. O que é um envoltório extracelular que está presente em um grande grupo de organismos procarióticos?
19. Como não necessitam de energia para ocorrer, osmose e difusão são considerados tipos de
 - a) fagocitose.
 - b) pinocitose.
 - c) transporte ativo.
 - d) transporte passivo.
20. Durante a osmose a água passa através da membrana semipermeável da solução menos concentrada em soluto para a solução
 - a) hipertônica.
 - b) hipotônica.
 - c) isotônica.
 - d) osmótica.

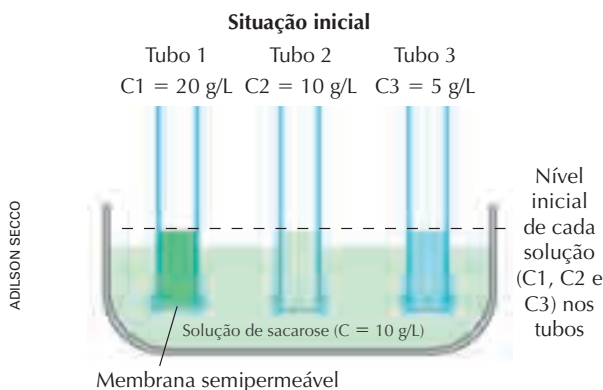
21. O fornecedor de energia para o transporte ativo de substâncias através da membrana plasmática é o
 - a) ácido desoxirribonucleico (DNA).
 - b) colesterol.
 - c) fagossomo.
 - d) trifosfato de adenosina (ATP).
22. No caso de a membrana plasmática ser permeável a determinada substância, esta se difundirá para o interior da célula quando
 - a) sua concentração no ambiente for menor que no citoplasma.
 - b) sua concentração no ambiente for maior que no citoplasma.
 - c) sua concentração no ambiente for igual à do citoplasma.
 - d) houver ATP disponível para fornecer energia ao transporte.
23. Uma condição necessária para que ocorra osmose em uma célula é que
 - a) as concentrações de soluto dentro e fora da célula sejam iguais.
 - b) as concentrações de soluto dentro e fora da célula sejam diferentes.
 - c) haja ATP disponível para fornecer energia para o transporte de água.
 - d) haja um vacúolo no interior da célula onde o excesso de água será acumulado.
24. Quando a produção de energia em uma célula é inibida experimentalmente, a concentração de íons no citoplasma pouco a pouco se iguala à do ambiente externo. Qual dos mecanismos a seguir é o responsável pela manutenção da diferença de concentração de íons dentro e fora da célula?
 - a) Difusão facilitada.
 - b) Difusão simples.
 - c) Osmose.
 - d) Transporte ativo.
25. Neutrófilos e macrófagos combatem bactérias e outros invasores que penetram em nosso corpo, englobando-os com projeções de suas membranas plasmáticas (pseudópodes). Esse processo de ingestão de partículas é chamado
 - a) difusão.
 - b) fagocitose.
 - c) osmose.
 - d) pinocitose.
26. Uma célula vegetal mergulhada em solução (I) não estoura devido à presença de (II). Qual alternativa completa corretamente a questão?
 - a) (I) = hipotônica; (II) = parece celulósica.
 - b) (I) = hipotônica; (II) = vacúolo.
 - c) (I) = hipertônica; (II) = parece celulósica.
 - d) (I) = hipertônica; (II) = vacúolo.

▼ Questões discursivas

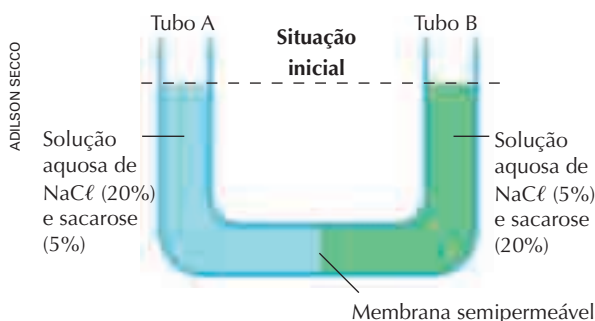
27. Entre as diversas maneiras de verificar a difusão, mencionamos a seguir uma que pode ser realizada sem materiais ou instrumentos especiais. Ponha água em um recipiente largo de vidro transparente (uma placa de Petri ou um “pirex”, desses usados na cozinha) e coloque sobre uma superfície branca, em um local bem iluminado. Espere até que a água pare de se agitar, e então pingue uma gota de tinta nanquim preta (ou tinta à base de látex) bem perto da superfície da água. Observe a difusão das

partículas de tinta. Teste o efeito da temperatura da água sobre a velocidade com que a difusão ocorre, colocando em um recipiente água bem gelada, e em outro, água bem quente. Em qual deles você espera que a difusão ocorra mais rapidamente? Por quê?

28. Três tubos de vidro têm, na extremidade inferior, membranas semipermeáveis (isto é, permeáveis à água, mas impermeáveis à sacarose) e foram mergulhados em um recipiente contendo uma solução aquosa de sacarose de concentração $C = 10 \text{ g/L}$. Os tubos apresentavam, inicialmente, volumes iguais de soluções de sacarose de diferentes concentrações: $C_1 = 20 \text{ g/L}$ (tubo 1); $C_2 = 10 \text{ g/L}$ (tubo 2); $C_3 = 5 \text{ g/L}$ (tubo 3). O que se espera que ocorra com o nível de líquido, em cada um dos tubos, após algum tempo? Por quê?



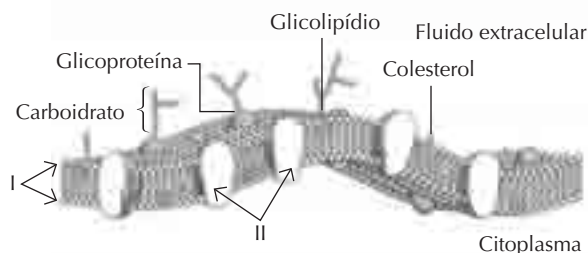
29. Um pesquisador verificou que a concentração de uma certa substância dentro da célula era vinte vezes maior do que fora dela. Sabendo-se que a substância em questão é capaz de se difundir facilmente através da membrana plasmática, como pode ser explicado o fato de não ser atingido o equilíbrio entre as concentrações interna e externa?
30. Considere a montagem esquematizada na figura abaixo, em que dois tubos (A e B) estão separados por uma membrana semipermeável. No tubo A foram colocados 20 mL de solução aquosa contendo 20% de cloreto de sódio (NaCl) e 5% de sacarose. No tubo B foram colocados 20 mL de solução aquosa contendo 5% de NaCl e 20% de sacarose. Considerando que a membrana entre os tubos é permeável à água e ao cloreto de sódio, mas impermeável à sacarose, responda às questões a seguir.
- O que se espera que ocorra com a concentração de NaCl nos tubos A e B? Por quê?
 - Ocorrerá osmose? Por quê?
 - O que se espera que ocorra com o nível da solução nos tubos A e B?



VESTIBULARES PELO BRASIL

Questões objetivas

- (Ufam) A organização molecular da membrana celular é essencialmente baseada na presença de uma bicamada lipídica. Identifique, nas alternativas abaixo, as moléculas que fazem parte da organização da membrana.
 - Ptialina, glicolipídios e colesterol.
 - Ácidos nucleicos, fosfolipídios e insulina.
 - Fosfolipídios, glicolipídios e colesterol.
 - Adenina, fosfolipídios e aminoácidos.
 - Citosina, colesterol e glicolipídios.
- (UFPA) Sabemos que as células necessitam trocar substâncias com o meio para manterem-se vivas. Isto porque elas precisam receber nutrientes e oxigênio e eliminar resíduos de seu metabolismo. As trocas entre as células e o meio podem ocorrer sob diversas formas. A passagem do oxigênio para o interior das células e a do gás carbônico para o meio externo ocorrem devido a um processo que consiste no
 - transporte passivo através de membrana semipermeável com a passagem do soluto do meio mais concentrado para o menos concentrado.
 - transporte ativo através da membrana, no qual a energia é utilizada para manter a concentração elevada de um determinado íon no interior da célula, apesar de existir uma concentração baixa do mesmo íon no meio exterior.
 - transporte facilitado a partir do estabelecimento de diferença de cargas elétricas na membrana plasmática.
 - movimento de moléculas do meio onde elas estão mais concentradas para onde estão menos concentradas, no sentido de igualar a concentração.
 - movimento de substâncias do meio menos concentrado para o mais concentrado, com o auxílio de proteínas respiratórias.
- (Uesb-BA) O esquema abaixo representa a estrutura da membrana plasmática segundo o modelo do mosaico fluido.

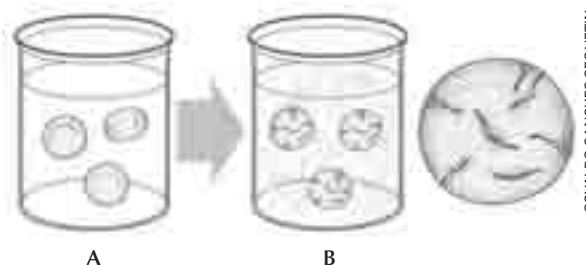


- carboidratos e fosfolipídios.
- proteínas e fosfolipídios.
- carboidratos e proteínas.
- fosfolipídios e proteínas.
- fosfolipídios e carboidratos.

4. (UFRN) A obesidade pode levar ao acúmulo de lipídios no interior dos vasos, prejudicando a circulação do sangue. No entanto, a presença de gordura é fundamental na dieta, porque, entre outras funções, os lipídios contribuem diretamente para
 - a) o aumento da fermentação.
 - b) o início da síntese proteica.
 - c) a duplicação das cadeias de DNA.
 - d) a composição da membrana celular.
5. (Uespi) Quando se faz o salgamento de carnes, sabe-se que os microrganismos que “tentarem” se instalar morrerão por desidratação. Conclui-se, assim, que essas carnes constituem um meio
 - a) isotônico.
 - b) hipotônico.
 - c) hipertônico.
 - d) lipídico.
 - e) plasmolisado.
6. (UEMS) Qual das alternativas abaixo descreve o modelo aceite atualmente para a constituição e a função da membrana plasmática?
 - a) Constituição lipoproteica com duas camadas de lipídios e com função de impermeabilização do meio intra e extracelular.
 - b) Constituição lipoproteica com duas camadas de lipídios e com função de delimitação da célula e suas organelas, apresentando permeabilidade seletiva.
 - c) Constituição proteica em camadas duplas de proteína e com função de impermeabilização do meio intra e extracelular.
 - d) Constituição lipídica com camada única de lipídios e com função de delimitação das células e suas organelas, apresentando permeabilidade seletiva.
 - e) Constituição lipoproteica com camada única de lipídios e com função de impermeabilização do meio intra e extracelular.
7. (UFMS) Hemácias humanas foram imersas em três tubos de ensaio, denominados A, B e C, contendo líquidos diferentes. Foram observados: redução de volume das hemácias no tubo A; aumento do volume das hemácias no tubo B; e nenhuma modificação de volume nas hemácias do tubo C. Determine a alternativa que indica a tonicidade das soluções A, B e C, respectivamente.
 - a) Isotônica, hipertônica e hipotônica.
 - b) Hipertônica, hipotônica e isotônica.
 - c) Hipotônica, hipertônica e isotônica.
 - d) Hipertônica, isotônica e hipotônica.
 - e) Hipotônica, isotônica e hipertônica.
8. (UEMS) Qual das alternativas descreve corretamente um dos processos de transporte através da membrana plasmática?
 - a) Fagocitose: processo de transporte que permite a entrada e saída de substâncias da célula espontaneamente.
 - b) Exocitose: processo de transporte que permite a ingestão de substâncias através do uso de energia — bomba de sódio.
 - c) Endocitose: processo de transporte que permite a eliminação de substâncias com dimensões

maiores, que não atravessam a membrana plasmática.

- d) Processo ativo: permite a ingestão de substâncias com dimensões maiores, que não atravessam a membrana plasmática, sem gasto de energia.
 - e) Processo passivo: processo de transporte que ocorre sem gasto de energia como difusão, difusão facilitada e osmose.
9. (UEMG) Observe a figura abaixo. A representa hemácias mergulhadas em um meio isotônico. Ao serem mergulhadas no meio B, sofreram hemólise.



Em relação ao fenômeno ocorrido, pode-se afirmar que

- a) o meio B é hipotônico em relação às hemácias.
 - b) as hemácias são hipotônicas em relação ao meio B.
 - c) ocorreu difusão de solutos das hemácias para o meio.
 - d) a hemólise é provocada pelo transporte ativo de solvente, e não tem relação com a tonicidade das soluções.
10. (Uerj) Em um experimento realizado em um laboratório escolar, duas tiras de batata foram mergulhadas por 10 minutos, uma na solução A e a outra na solução B. Os resultados, após este tempo, estão resumidos na tabela abaixo.

Solução	Condição da tira de batata
A	amolecida
B	rígida

Em relação à tonicidade do citoplasma das células de batata, as soluções A e B são, respectivamente, classificadas como

- a) hipotônica e isotônica.
 - b) isotônica e hipertônica.
 - c) hipertônica e hipotônica.
 - d) hipotônica e hipertônica.
11. (Unesp) No início da manhã, a dona de casa lavou algumas folhas de alface e as manteve em uma bacia, imersas em água comum de torneira, até a hora do almoço. Com esse procedimento, a dona de casa assegurou que as células das folhas se mantivessem

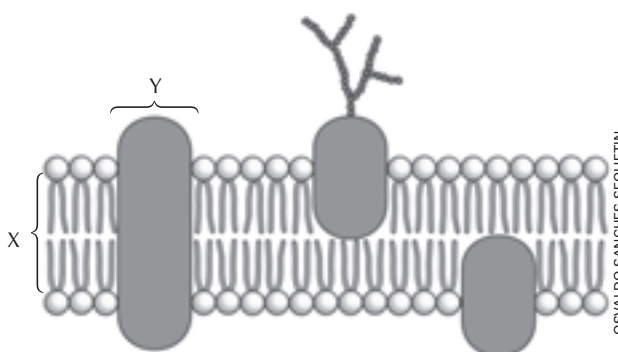
- a) túrgidas, uma vez que foram colocadas em meio isotônico.
 b) túrgidas, uma vez que foram colocadas em meio hipotônico.
 c) túrgidas, uma vez que foram colocadas em meio hipertônico.
 d) plasmolisadas, uma vez que foram colocadas em meio isotônico.
 e) plasmolisadas, uma vez que foram colocadas em meio hipertônico.
12. (Unifal-MG) São poucas as células que realizam o transporte de substâncias por meio da fagocitose. As amebas (protozoários), por exemplo, utilizam esse processo em sua alimentação. Considerando esse tipo de transporte, analise as afirmativas abaixo.
- I. Pela emissão de pseudópodes, a ameba captura o alimento, que é digerido no seu interior por meio de enzimas específicas.
 II. A fagocitose é um transporte ativo, pois o alimento atravessa a membrana com a ajuda de proteínas que carregam o alimento para o interior da ameba.
 III. Nos vertebrados, o processo de fagocitose é utilizado por algumas células de defesa, como, por exemplo, alguns glóbulos brancos.
- Determine a alternativa correta.
- a) Apenas I e III são corretas.
 b) Apenas I e II são corretas.
 c) Apenas II e III são corretas.
 d) I, II e III são corretas.
13. (UFPEL-RS) Atenção na cozinha: não é aconselhável temperar, com sal e vinagre, uma salada de verduras, ou um pedaço de carne, muito tempo antes de consumir. Provavelmente as folhas da verdura ficarão murchas, e a carne vai começar a liberar muito líquido.
- Baseado no texto e em seus conhecimentos, é correto afirmar que em ambos os casos ocorrerá
- a) a difusão do solvente do meio hipertônico para o hipotônico, por isso a carne e as verduras perderão água.
 b) a lise celular e por isso as células liberarão água, pois foram submetidas a um meio hipotônico.
 c) a deplasmólise, processo em que há perda de água para o ambiente e consequentemente a diminuição do volume celular.
 d) um processo de osmose, em que as células perderão água por serem submetidas a um meio hipertônico.
 e) um processo de transporte ativo, em que as células secretarão água para ocorrer a entrada de sal nas próprias células.
14. (Udesc) Algumas partículas sólidas podem ser transportadas ativa e passivamente pela membrana plasmática.
- Com relação a isso, determine a alternativa **correta**.
- a) Será passivo, quando o soluto for transportado por osmose, a favor de um gradiente de concentração.
 b) Será passivo, quando seu transporte for realizado por bombas, com gasto de energia.

- c) Seu transporte será sempre ativo por difusão facilitada, com gasto de energia.
 d) Será ativo, quando o soluto for transportado contra um gradiente de concentração e com gasto de energia.
 e) Será sempre passivo, por pinocitose, sem gasto de energia.

15. (PUC-SP) Duas células vegetais, designadas por A e B, foram mergulhadas em meios diferentes. Logo após, notou-se que a célula A apresentou considerável aumento de volume vacuolar, enquanto a célula B apresentou retração de seu vacúolo e de seu citoplasma. A partir desses resultados, pode-se afirmar que as células A e B foram mergulhadas em soluções, respectivamente,
- a) isotônica e hipertônica.
 b) isotônica e hipotônica.
 c) hipotônica e isotônica.
 d) hipotônica e hipertônica.
 e) hipertônica e hipotônica.
16. (USJ-SC) Alguns protozoários obtêm alimento englobando, por pseudópodes, partículas sólidas presentes no meio. Esse processo é denominado
- a) fagocitose.
 b) clasmocitose.
 c) pinocitose.
 d) difusão.

Questões discursivas

17. (Unifesp) O esquema representa parte da membrana plasmática de uma célula eucariótica.



- a) A que correspondem X e Y?
 b) Explique, usando o modelo do “mosaico fluido” para a membrana plasmática, como se dá a secreção de produtos do meio intracelular para o meio extracelular.
18. (Fuvest-SP) Os protozoários de água doce, em geral, possuem vacúolos pulsáteis, que constantemente se enchem de água e se esvaziam, eliminando água para o meio externo. Já os protozoários de água salgada raramente apresentam essas estruturas.
- Explique:
- a) a razão da diferença entre protozoários de água doce e de água salgada, quanto à ocorrência dos vacúolos pulsáteis.
 b) o que deve ocorrer com um protozoário de água salgada, desprovido de vacúolo pulsátil, ao ser transferido para água destilada.

Capítulo

6

Citoplasma e organelas citoplasmáticas

Os primeiros citologistas imaginavam as células como bolsas microscópicas, cheias de um fluido viscoso, que eles denominaram citoplasma. O contínuo aperfeiçoamento das técnicas citológicas mudou essa visão ao revelar que o interior celular é um micromundo muito bem organizado e fervilhante de vida.

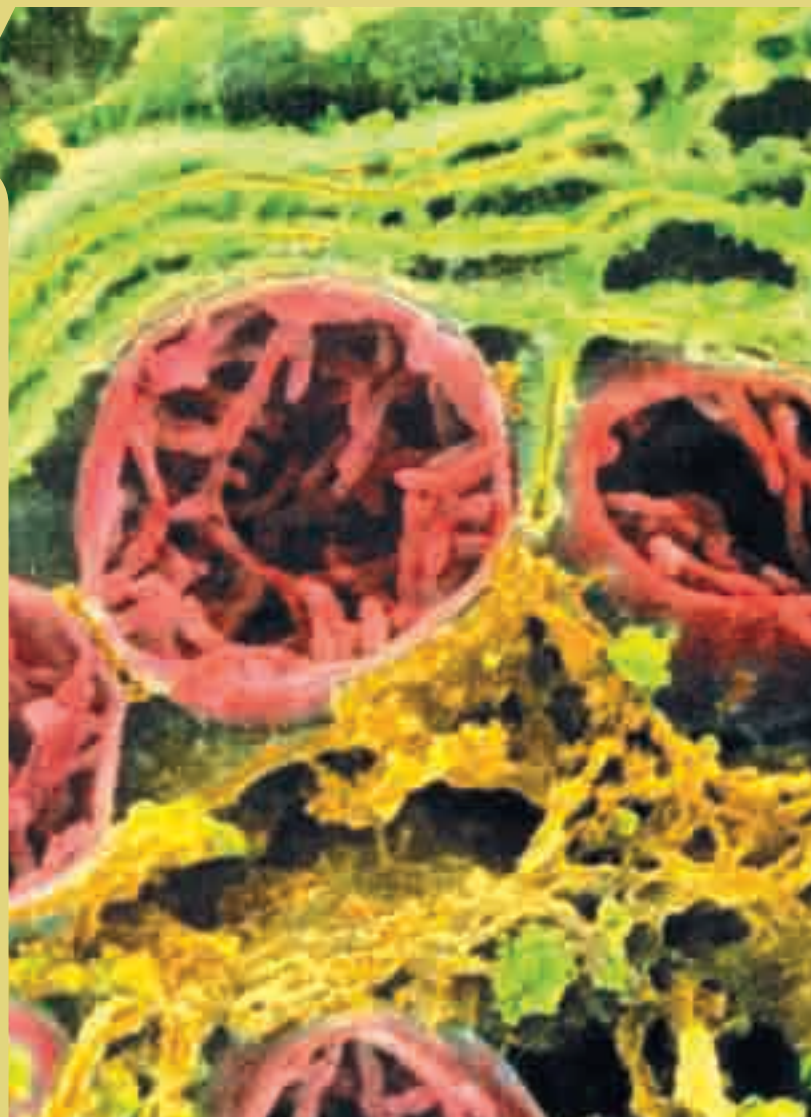
Neste capítulo, estudaremos a organização interna do citoplasma de células procarióticas e eucarióticas, assim como a estrutura e a função das principais organelas citoplasmáticas e do citoesqueleto.

6.1 O citoplasma

O citoplasma da célula eucariótica, além de conter bolsas e tubos membranosos, apresenta estruturas de sustentação comparáveis a um esqueleto altamente dinâmico, responsável pela forma e pelos movimentos celulares.

6.2 Organelas citoplasmáticas

As diversas estruturas presentes no citoplasma das células eucarióticas desempenham funções específicas, essenciais à vida da célula. Por serem comparáveis aos órgãos de um organismo, elas são denominadas orgânulos ou organelas celulares.



O citoplasma celular é um labirinto de estruturas membranosas. Nesta micrografia de um corte de célula ao microscópio eletrônico de varredura, é possível ver o retículo endoplasmático (colorido em verde-claro) e mitocôndrias (em vermelho-claro); estas últimas são responsáveis pela produção de energia na célula viva (aumento $\approx 85.000\times$; colorizada artificialmente).

O citoplasma

» Habilidades sugeridas

- Compreender a célula como uma entidade tridimensional, no interior da qual há diferentes estruturas que funcionam integradamente para a manutenção da vida celular.
- Relacionar as principais diferenças estruturais entre células procarióticas e células eucarióticas e identificar os grupos de seres vivos em que cada tipo de célula ocorre.

» Conceitos principais

- citoplasma
- citosol
- ribossomo
- nucleóide
- plasmídeo

» Organização geral do citoplasma

Estudos microscópicos dos seres vivos têm revelado a existência de milhares de tipos de células. Apenas no corpo humano, já foram identificados cerca de trezentos tipos celulares diferentes. Por exemplo, existem células nervosas cujas expansões percorrem o corpo como cabos elétricos, transmitindo informações de um local para outro; células musculares que possuem, internamente, feixes de proteínas capazes de se contrair e produzir os movimentos corporais; células especiais da pele – os melanócitos – que produzem melanina, um pigmento escuro que absorve a radiação ultravioleta da energia solar e evita danos ao organismo etc.

Apesar da diversidade, todas as células compartilham ao menos três características: a) são dotadas de membrana plasmática, que isola o conteúdo celular do ambiente externo e controla a passagem de substâncias; b) contêm **citoplasma** (do grego *kytos*, célula, e *plasma*, líquido), formado por um líquido viscoso (citosol) e por estruturas e substâncias necessárias às funções vitais; c) possuem material genético (DNA), no qual estão inscritas informações em código que controlam todo o funcionamento celular.

Quanto ao padrão básico de organização, existem dois tipos de célula: procariótica e eucariótica. As células procarióticas são típicas de bactérias e arqueas (anteriormente chamadas de arqueobactérias); todos os outros grupos de seres vivos são constituídos por células eucarióticas.

O citoplasma das células procarióticas

Células procarióticas, presentes apenas em bactérias e arqueas, têm tamanho reduzido, entre 0,2 μm e 1,5 μm de diâmetro por de 2 μm a 8 μm de comprimento. Sua forma varia, podendo ser esférica (coco), alongada como um bastonete (bacilo), espiralada (espirilo) etc. Algumas espécies de bactéria possuem filamentos que se projetam da superfície celular e se movimentam devido a um microscópico motor presente na parede e na membrana plasmática; são os flagelos bacterianos.

O citoplasma das células procarióticas é todo o ambiente celular delimitado pela membrana plasmática. Ele constitui-se de um líquido viscoso e semitransparente, o **citosol**, composto por 80% de água e por milhares de tipos de proteínas, glicídios, lipídios, aminoácidos, bases nitrogenadas, vitaminas, íons etc. Mergulhados no citosol, há uma ou mais moléculas de DNA e milhares de **ribossomos**, estruturas granulosas especializadas na produção de proteínas. (Fig. 6.1)

Os ribossomos bacterianos são um pouco menores que os de uma célula eucariótica e possuem algumas proteínas ligeiramente diferentes em sua constituição. Por isso, certas drogas antibióticas atuam apenas nos ribossomos das bactérias, impedindo-os de sintetizar proteínas, sem afetar o metabolismo das células eucarióticas do hospedeiro. Os antibióticos estreptomicina, neomicina e tetraciclina, por exemplo, agem dessa maneira.

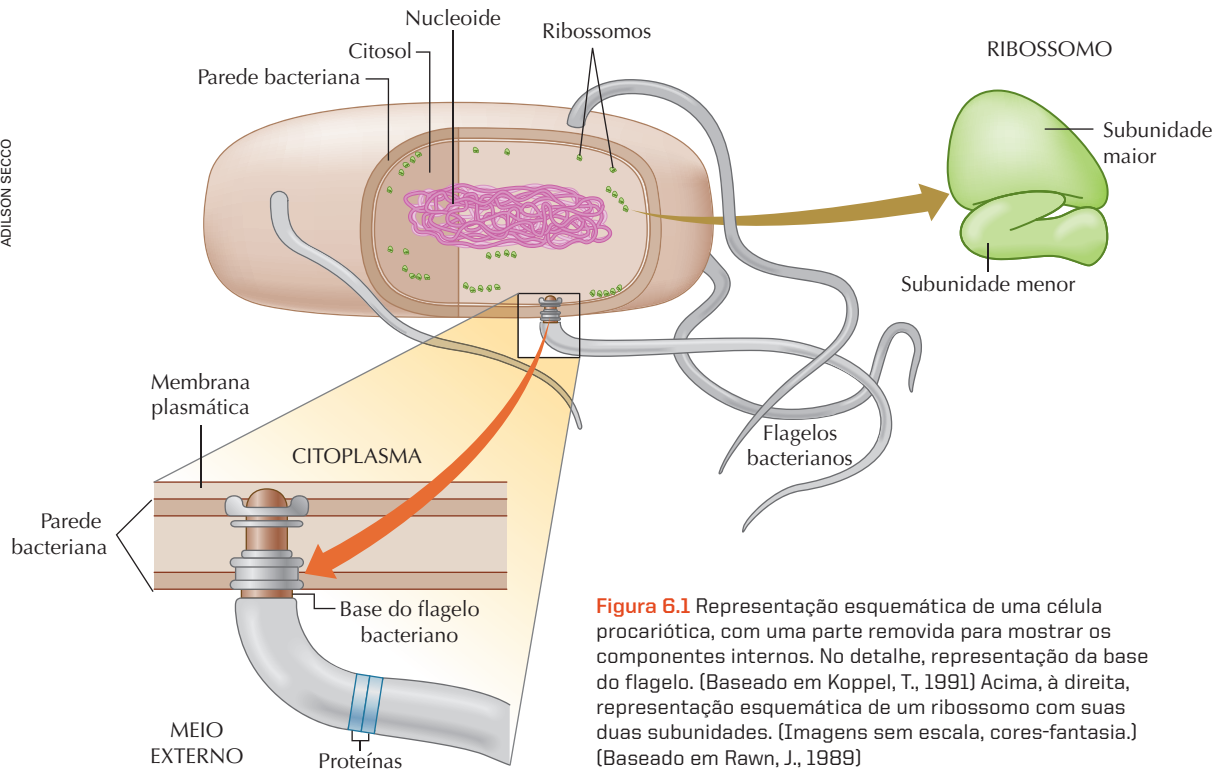


Figura 6.1 Representação esquemática de uma célula procariótica, com uma parte removida para mostrar os componentes internos. No detalhe, representação da base do flagelo. (Baseado em Koppel, T., 1991) Acima, à direita, representação esquemática de um ribossomo com suas duas subunidades. (Imagens sem escala, cores-fantasia.) (Baseado em Rawn, J., 1989)

As células procarióticas não possuem núcleo, e o **cromossomo bacteriano**, constituído por uma longa molécula de DNA com as duas extremidades unidas entre si (cromossomo circular), encontra-se emaranhado numa região do citoplasma, formando o **nucleóide**. Além do cromossomo propriamente dito, a célula procariótica pode conter ainda pequenas moléculas circulares de DNA denominadas **plasmídios**. Embora não sejam indispensáveis à sobrevivência da bactéria, os plasmídios têm informações codificadas (genes) que podem ser importantes em determinadas situações. Por exemplo, diversos genes para enzimas que degradam antibióticos localizam-se em plasmídios e tornam as bactérias portadoras imunes à presença dessas drogas. (Fig. 6.2)

O citoplasma das células procarióticas, com exceção de bactérias fotossintetizantes, não possui membranas internas. Nas cianobactérias, um tipo de bactéria fotossintetizante, o citoplasma apresenta membranas lipoproteicas dispostas em várias camadas concêntricas a partir da periferia da célula; nelas, localizam-se substâncias que participam do processo de fotossíntese. (Fig. 6.3)

Figura 6.2 Micrografias de DNA de bactérias ao microscópio eletrônico de transmissão, colorizadas artificialmente.

- A.** Bactéria rompida em decorrência de choque osmótico, mostrando o longo cromossomo espalhado ao redor da célula (aumento $\approx 4.000\times$).
B. Plasmídios isolados de bactérias (aumento $\approx 40.000\times$).

FOTOS: DR. GOPAL MURTI/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK





BIOPHOTO ASSOCIATES/PHOTO
RESEARCHERS/LATINSTOCK

Figura 6.3 Micrografia ao microscópio eletrônico de transmissão de um corte da cianobactéria *Oscillatoria* sp., colorizada artificialmente (aumento $\approx 21.500\times$).

O citoplasma das células eucarióticas

As células eucarióticas são bem maiores que as células procarióticas – imagine um melão e um bago de uva e você terá uma boa ideia dos tamanhos relativos desses dois tipos de célula. Além da diferença de tamanho, células eucarióticas têm organização muito mais complexa, como veremos no decorrer deste capítulo.

O citoplasma das células eucarióticas, definido como a região localizada entre a membrana plasmática e o envoltório do núcleo, contém um fluido semelhante ao das células procarióticas e também chamado de citosol (denominações mais antigas, como hialoplasma ou citoplasma fundamental, foram abandonadas). Nele, há diversas estruturas denominadas organelas citoplasmáticas, que atuam como pequenos órgãos. Há também o citoesqueleto, um complexo arcabouço de sustentação, formado por tubos e filamentos de proteína, que define a forma da célula e permite que ela realize movimentos. Observe nas ilustrações a seguir os componentes principais das células animais e vegetais. (**Fig. 6.4**)

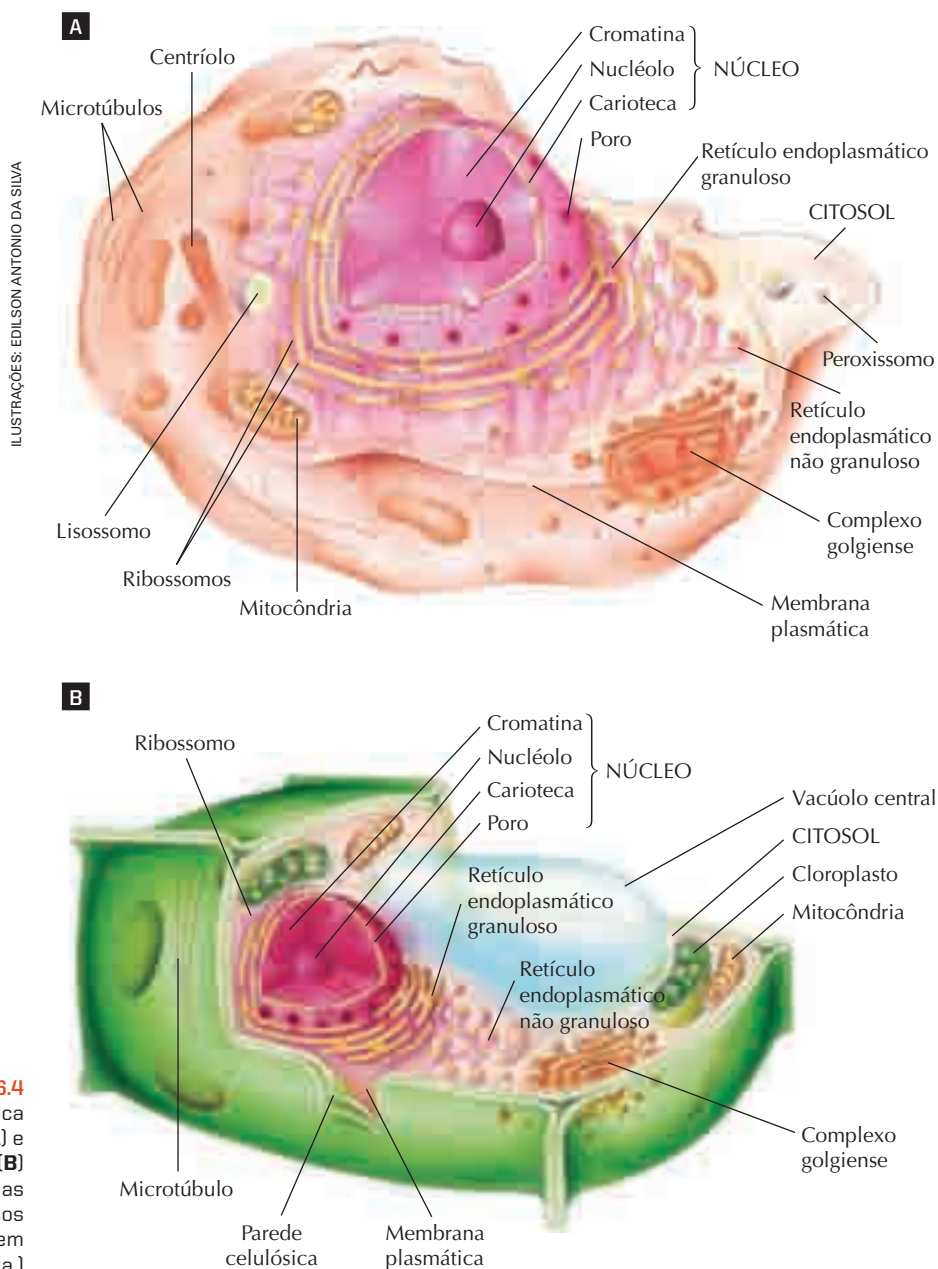


Figura 6.4 Representação esquemática de célula animal (**A**) e de célula vegetal (**B**) parcialmente cortadas para mostrar seus diversos componentes. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)

Organelas citoplasmáticas

Habilidades sugeridas

- ▶ Valorizar os estudos detalhados sobre o interior da célula viva, reconhecendo-os como possíveis geradores de conhecimentos e tecnologias úteis à humanidade, entre elas as relacionadas à saúde humana.
- ▶ Identificar, em esquemas e fotografias, diferentes partes das células, tais como: membrana plasmática, citosol, retículo endoplasmático, complexo golgiense, mitocôndria, plasto, centríolo, cílio e flagelo.
- ▶ Associar corretamente estrutura e função (ou funções) de cada uma das organelas celulares.

Conceitos principais

- **retículo endoplasmático**
- **complexo golgiense**
- **secreção celular**
- **lisossomo**
- **vacúolo digestivo**
- **citoesqueleto**
- **centrossomo**
- **movimento ameboide**
- **centríolo**
- **cílio**
- **flagelo**
- **mitocôndria**
- **plasto**

1 Retículo endoplasmático

Como já mencionamos, toda célula eucariótica apresenta uma rede citoplasmática de tubos e bolsas membranosos denominada **retículo endoplasmático**. Em certas regiões do citoplasma, as membranas do retículo apresentam ribossomos aderidos à sua superfície, constituindo o chamado **retículo endoplasmático granuloso**, ou retículo endoplasmático rugoso (antigamente denominado ergastoplasma). Em outras regiões, não há ribossomos aderidos às membranas e o retículo recebe a denominação de **retículo endoplasmático não granuloso** (ou retículo endoplasmático liso). (Fig. 6.5)

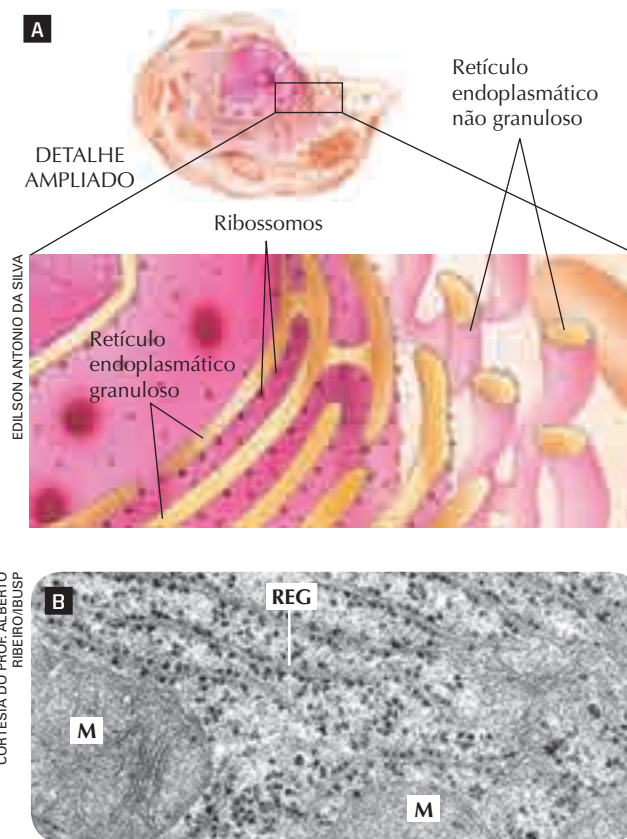


Figura 6.5

A. Representação tridimensional do retículo endoplasmático granuloso e do retículo endoplasmático não granuloso. (Imagem sem escala, cores-fantasia.)
B. Micrografia de corte de célula animal mostrando retículo endoplasmático granuloso (REG) e mitocôndrias (M) (microscópio eletrônico de transmissão; aumento $\approx 47.500\times$).

Funções do retículo endoplasmático granuloso

Os ribossomos aderidos às membranas do retículo endoplasmático granuloso atuam na produção de certas proteínas celulares, principalmente aquelas que se destinam à “exportação”, isto é, que serão eliminadas para atuar fora da célula. Por exemplo, as enzimas que digerem os alimentos ingeridos por uma pessoa são produzidas no retículo endoplasmático granuloso de células glandulares e eliminadas na cavidade do tubo digestório, onde atuam. O retículo endoplasmático granuloso também é responsável pela produção das enzimas lisossômicas, que fazem a digestão intracelular, e das proteínas que compõem as membranas celulares. Já as proteínas do citoesqueleto e as que atuam no citosol e no núcleo celular são produzidas por ribossomos livres no líquido citoplasmático.

Funções do retículo endoplasmático não granuloso

O retículo endoplasmático não granuloso é responsável pela síntese de ácidos graxos, de fosfolipídios e de esteroides, que ocorre no interior de suas bolsas e tubos membranosos.

A maioria das células possui pequena quantidade de retículo endoplasmático não granuloso, mas ele é abundante, por exemplo, em células do fígado (hepatócitos), onde tem por função alterar certas substâncias tóxicas, como pesticidas e outras drogas, inativando-as e facilitando sua eliminação do corpo.

As células das gônadas, que produzem os hormônios sexuais, também apresentam retículo não granuloso bem desenvolvido, pois é nele que esses hormônios esteroides são sintetizados. Nas células musculares, bolsas do retículo endoplasmático não granuloso são especializadas no armazenamento de íons de cálcio (Ca^{2+}) que, ao serem liberados no citosol, promovem a contração muscular.

2 Complexo golgiense

Muitas proteínas produzidas pelos ribossomos do retículo granuloso são enviadas diretamente para outra estrutura membranosa citoplasmática: o **complexo golgiense**, ou **complexo de Golgi** (ou ainda aparelho de Golgi). Esse componente citoplasmático é constituído por de 6 a 20 bolsas membranosas achatadas, denominadas cisternas, empilhadas umas sobre as outras e por vesículas derivadas delas. Nas células vegetais, há conjuntos de cisternas dispersos pelo citoplasma, sendo cada conjunto denominado **golgiossomo** ou dictiossomo. Nas células animais, as cisternas do complexo golgiense se concentram em uma região específica do citoplasma, geralmente próxima do núcleo e de um par de estruturas tubulares conhecidas como centríolos, que estudaremos mais adiante.

Nas cisternas do complexo golgiense, certas proteínas e lipídios produzidos no retículo endoplasmático são quimicamente modificados pela adição de glicídios, processo denominado glicosilação. É também no complexo golgiense que ocorre a síntese de determinados carboidratos.

Secreção celular

A maioria das proteínas que atuam no ambiente externo à célula, como as enzimas que fazem a digestão dos alimentos em nosso tubo digestório, passa pelo complexo golgiense, onde são “empacotadas” no interior de bolsas membranosas, ou vesículas denominadas grãos de zimogênio, para serem enviadas aos locais extracelulares em que atuarão. O complexo golgiense é, portanto, o responsável pela **secreção celular**, nome atribuído ao processo de eliminação de substâncias úteis por células secretoras.

A microscopia eletrônica e outras técnicas citológicas revelaram como se dá a transferência das proteínas produzidas no retículo endoplasmático granuloso para as cisternas do complexo golgiense: ela ocorre por meio das chamadas vesículas de transição, bolsas membranosas repletas de proteínas recém-sintetizadas, que surgem por brotamento na superfície das vesículas do retículo endoplasmático granuloso. Uma vez liberadas do retículo, as vesículas de transição deslocam-se em direção ao complexo golgiense e se fundem à sua cisterna mais externa, onde despejam o conteúdo proteico que transportam. Essa primeira cisterna golgiense a receber proteínas do retículo forma em suas bordas novas vesículas de transição repletas de proteína, as quais se fundem à cisterna imediatamente acima. A segunda cisterna golgiense origina, por sua vez, novas vesículas de transição que irão se fundir à cisterna seguinte e assim sucessivamente. As vesículas liberadas pela última cisterna da pilha dirigem-se a seu destino final, que pode ser o próprio citoplasma, no caso de a vesícula conter proteínas estruturais da membrana ou enzimas lisossômicas, ou o meio extracelular, no caso de a vesícula conter proteínas a serem secretadas.

Os citologistas costumam dizer que o conjunto de cisternas do complexo golgiense é polarizado, pois apresenta uma face na qual as vesículas provenientes do retículo endoplasmático granuloso se fundem, e uma face oposta, da qual se desprendem as vesículas em direção a seus destinos. A face do complexo golgiense voltada para o retículo granuloso é chamada face cis, ou face formativa. A face oposta, em que brotam as vesículas contendo as proteínas modificadas e selecionadas de acordo com seu destino, é denominada face trans, ou face de maturação. (Fig. 6.6)

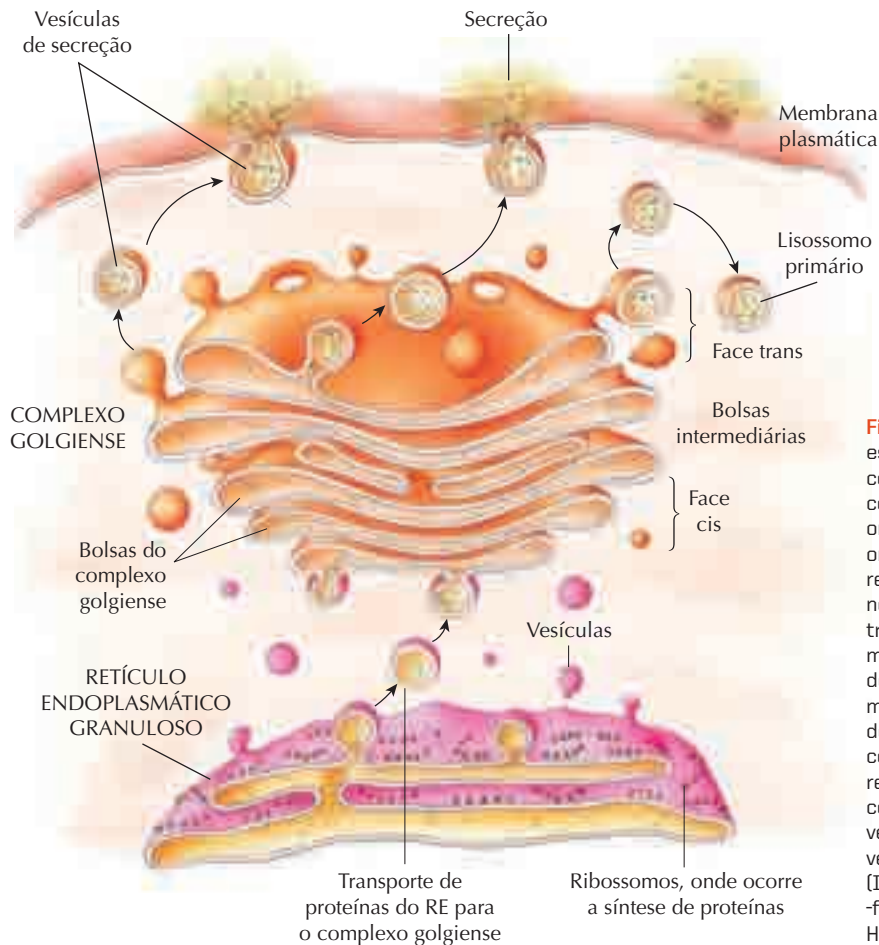


Figura 6.6 Representação esquemática da estrutura do complexo golgiense parcialmente cortado para mostrar sua organização. Note a face cis, por onde proteínas provenientes do retículo endoplasmático penetram no complexo golgiense, e a face trans, por onde as proteínas modificadas e empacotadas deixam o complexo. A ilustração mostra um instante congelado do processo; vesículas são continuamente liberadas pelo retículo e se fundem à face cis do complexo; as cisternas, por sua vez, liberam continuamente mais vesículas de transição. [Imagens sem escala, cores-fantasia.] (Baseado em Lodish, H. e cols., 2005.)

Diversas substâncias de natureza proteica, além das enzimas digestivas já mencionadas, passam pelo complexo golgiense para ser secretadas; é o caso de certos hormônios e de substâncias mucosas, como as produzidas por nossas vias respiratórias. (Fig. 6.7)

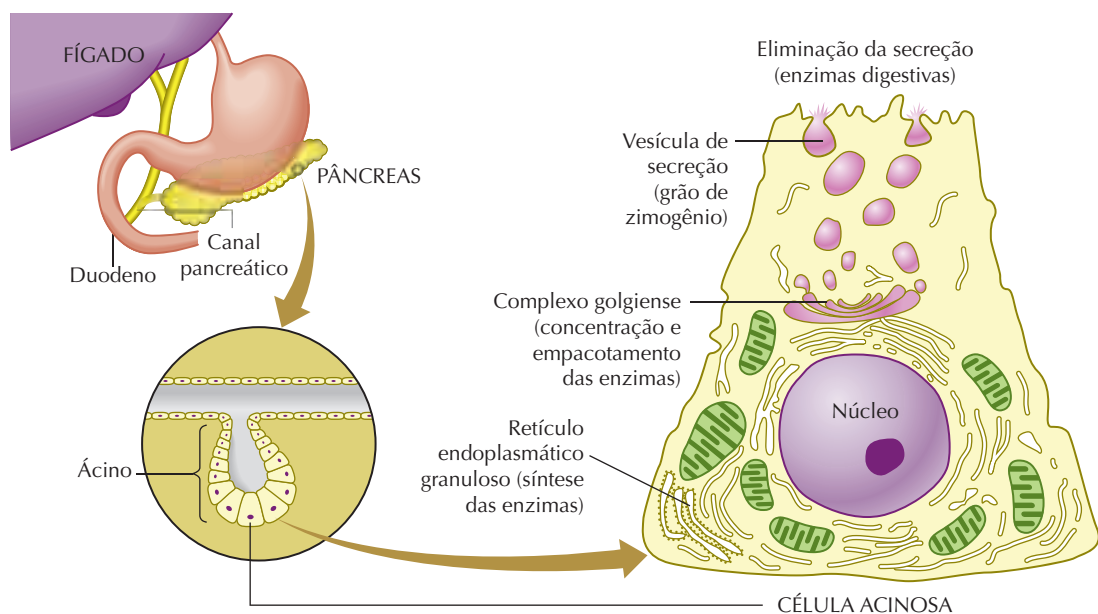


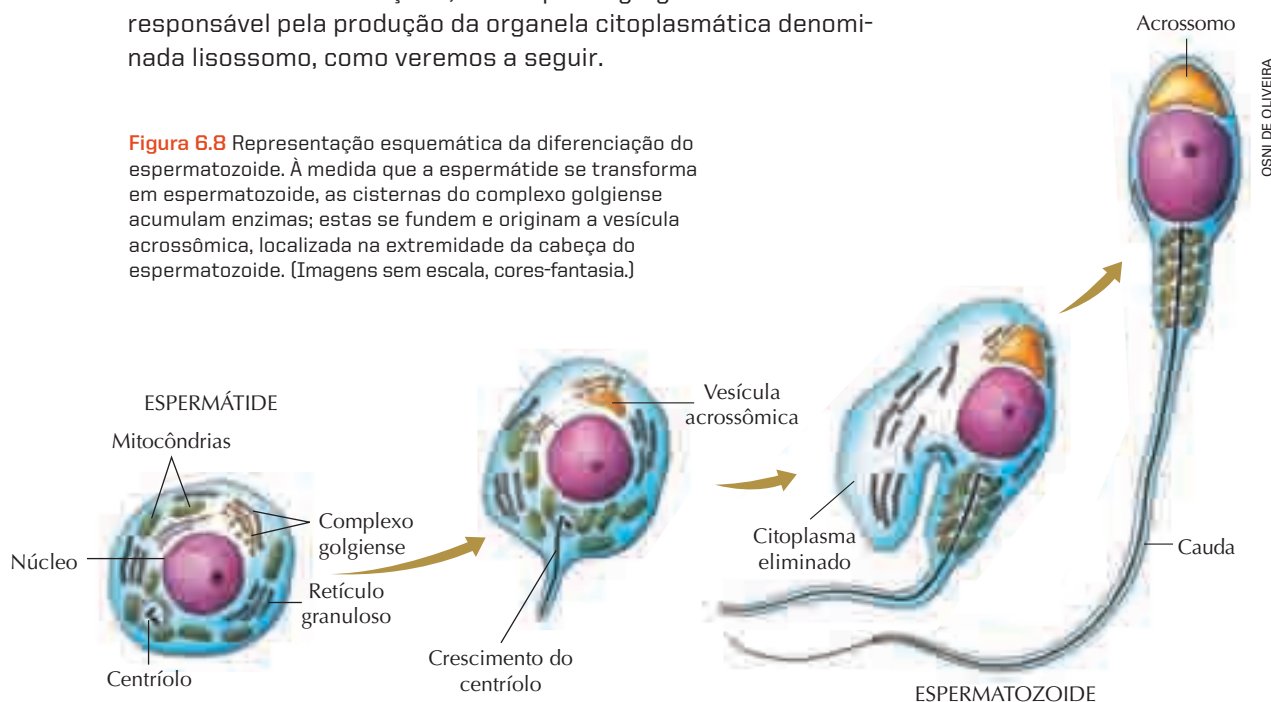
Figura 6.7 Representação esquemática da localização e da estrutura de uma célula acinosa. O pâncreas contém inúmeras bolsas, denominadas ácidos pancreáticos, cujas paredes são constituídas por células secretoras de enzimas digestivas [células acinosas]. [Imagens sem escala, cores-fantasia.]

Nas células vegetais, o complexo golgiense também desempenha função secretora. É por meio dele que são secretadas as glicoproteínas e alguns polissacarídeos (pectina e hemicelulose) que integram a parede celular e constituem o “cimento” que une células vizinhas. Além disso, o complexo golgiense pode originar e “abastecer” de substâncias o vacúolo central típico das células vegetais. Vesículas liberadas do complexo golgiense se fundem continuamente a esse vacúolo, nele lançando enzimas que atuam na digestão intracelular aí realizada.

O complexo golgiense também desempenha papel importante na formação dos espermatozoides dos animais, originando o **acrossomo** (do grego *acros*, alto, topo, e *somatos*, corpo), uma grande vesícula repleta de enzimas digestivas, que ocupa a ponta da cabeça do espermatozoide. As enzimas digestivas contidas na vesícula acrossômica têm por função perfurar as membranas do gameta feminino na fecundação. (Fig. 6.8)

Dentre tantas funções, o complexo golgiense também é responsável pela produção da organela citoplasmática denominada lisossomo, como veremos a seguir.

Figura 6.8 Representação esquemática da diferenciação do espermatozoide. À medida que a espermatíde se transforma em espermatozoide, as cisternas do complexo golgiense acumulam enzimas; estas se fundem e originam a vesícula acrossômica, localizada na extremidade da cabeça do espermatozoide. [Imagens sem escala, cores-fantasia.]



3 Lisossomos

Lisossomos (do grego *lise*, quebra) são bolsas membranosas que contêm dezenas de tipos de enzimas digestivas, capazes de digerir grande variedade de substâncias orgânicas. Dentre as enzimas lisossômicas, destacam-se as nucleases, que digerem ácidos nucleicos (DNA e RNA), as proteases, que digerem proteínas, as fosfatases, que atuam removendo fosfatos de nucleotídeos, de fosfolípidios e de outros compostos, além de enzimas que digerem polissacarídeos e lípidios. Células animais podem conter centenas de lisossomos.

A membrana lipoproteica dos lisossomos é capaz de bombear ativamente íons H^+ do citosol para o interior da organela, o que faz o interior do lisossomo ter um pH ácido, em torno de 4,8, ideal para a ação das enzimas lisossômicas. Essas enzimas praticamente não atuam em pH neutro, como o do citosol e o do líquido que banha as células. Assim, se eventualmente um lisossomo se rompe e libera suas enzimas no citoplasma, não chega a haver autodigestão da célula, pois o pH do citosol gira em torno de 7,0 a 7,3. Um mistério ainda não desvendado pelos cientistas é como a membrana do lisossomo consegue se proteger de ser digerida por suas próprias enzimas.

Os lisossomos recém-produzidos pelo complexo golgiense vagam pelo citoplasma até se fundir a bolsas membranosas contendo materiais a serem digeridos. Enquanto essa fusão não ocorre, eles são denominados **lisossomos primários**, pois ainda não iniciaram sua atividade de digestão. Quando se fundem a bolsas membranosas com os materiais que serão digeridos e suas enzimas entram em ação, eles passam a ser chamados de **lisossomos secundários**.

Lisossomos podem digerir material capturado do exterior por fagocitose ou por pinocitose, o que constitui sua função heterofágica, ou digerir partes desgastadas da própria célula, o que se denomina função autofágica. (Fig. 6.9)

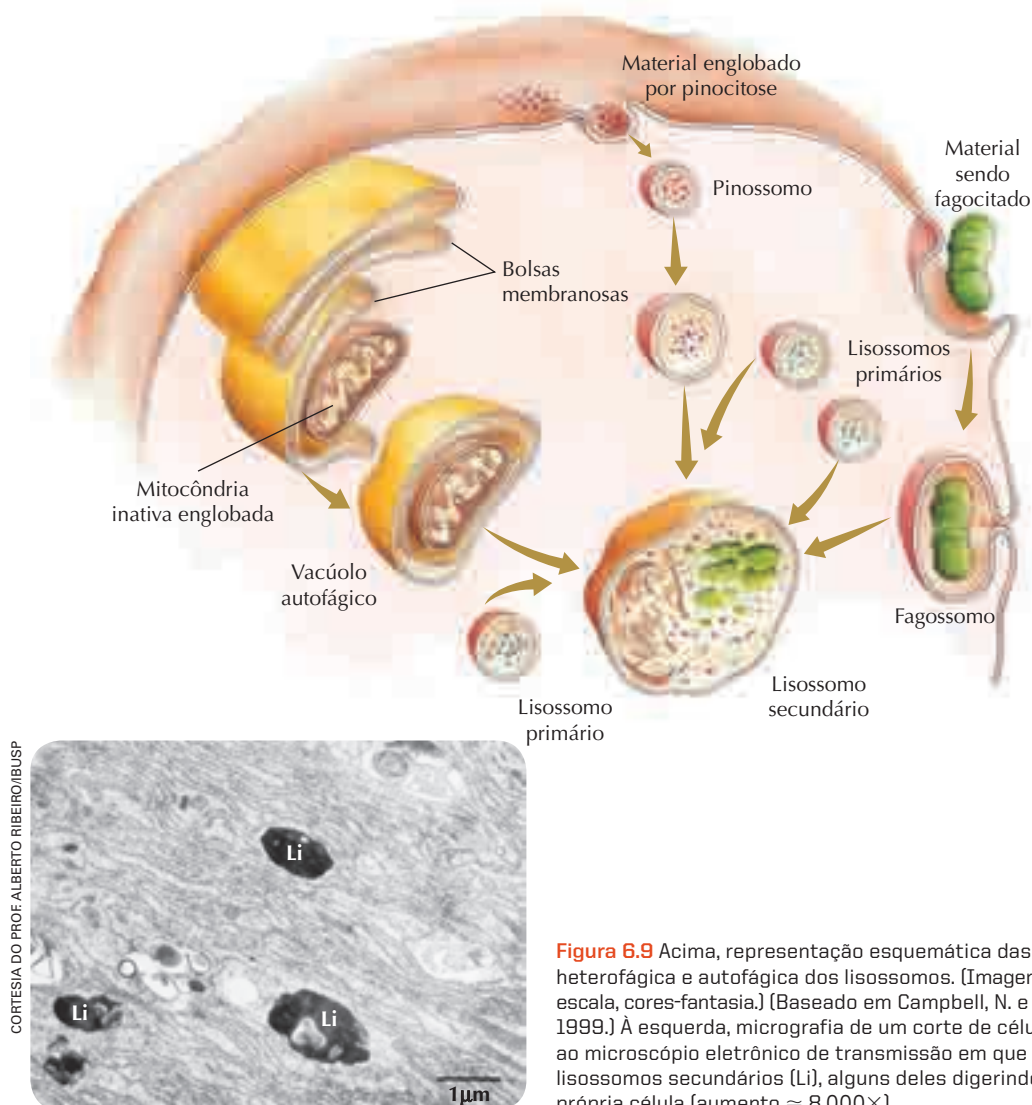


Figura 6.9 Acima, representação esquemática das funções heterofágica e autofágica dos lisossomos. (Imagem sem escala, cores-fantasia.) (Baseado em Campbell, N. e cols., 1999.) À esquerda, micrografia de um corte de célula animal ao microscópio eletrônico de transmissão em que se veem lisossomos secundários (Li), alguns deles digerindo partes da própria célula (aumento $\approx 8.000\times$).

Função heterofágica dos lisossomos

Materiais que a célula engloba por fagocitose ou por pinocitose ficam contidos em bolsas membranosas respectivamente chamadas de fagossomos e pinossomos. Essas bolsas fundem-se a lisossomos primários e originam lisossomos secundários, também chamados de **vacúolos digestivos**, pois em seu interior ocorre a digestão intracelular. Como os materiais digeridos vêm de fora da célula, esses vacúolos são denominados **vacúolos heterofágicos** (do grego, *hetero*, diferente, e *fagos*, comer). A digestão de substâncias vindas de fora da célula constitui a função heterofágica dos lisossomos.

Substâncias úteis originadas do processo digestivo atravessam a membrana do vacúolo digestivo rumo ao citosol, onde podem ser utilizadas como matéria-prima para produzir novos componentes celulares ou como fonte de energia. Restos do processo digestivo acumulam-se no lisossomo secundário, que se torna inativo após algum tempo e passa a ser chamado de **vacúolo residual** (ou corpo residual). Este geralmente se funde à membrana plasmática e elimina seu conteúdo para o meio extracelular, processo denominado defecação celular ou clasmocitose.

EDILSON ANTONIO DA SILVA

CORTESIA DO PROF. ALBERTO RIBEIRO/IBUSP

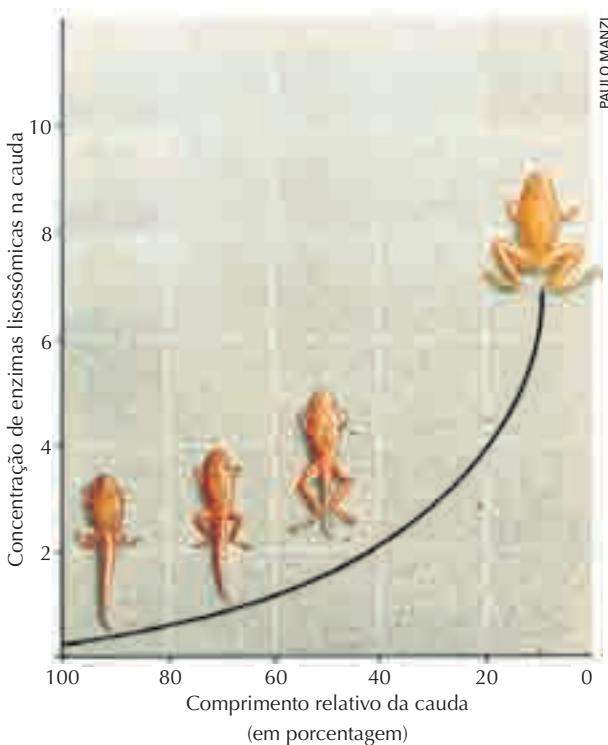


Figura 6.10 Gráfico que mostra o aumento da concentração de enzimas lisossômicas (no eixo das ordenadas) nas células da cauda de girinos durante o desenvolvimento. A regressão da cauda dos girinos ocorre devido à digestão de células por enzimas lisossômicas; o material resultante dessa autofagia entra na circulação sanguínea e é utilizado no crescimento do corpo. (Dados de De Duve, C., 1969.)

Função autofágica dos lisossomos e rejuvenescimento celular

As células animais são capazes de digerir partes de si mesmas pela ação de seus lisossomos, processo denominado autofagia (do grego *autos*, próprio, e *phagein*, comer). Por exemplo, quando um organismo é privado de alimento e as reservas do corpo se esgotam, as células realizam autofagia num esforço de sobrevivência. Nesse caso, fala-se em função autofágica dos lisossomos. (Fig. 6.10)

Toda célula recorre à autofagia para eliminar partes de si mesma desgastadas pelo uso, reaproveitando alguns de seus componentes. Células nervosas do cérebro, por exemplo, que se formam na fase embrionária e nunca são substituídas, têm todos os seus componentes (exceto os genes) reciclados a cada mês. Em uma célula do fígado, ocorre reciclagem completa dos componentes a cada semana. A autofagia é, portanto, um importante processo por meio do qual as células mantêm sua “juventude”.

No processo de autofagia, a estrutura celular a ser digerida é envolvida por membranas do retículo e fica contida em uma bolsa membranosa. Esta, chamada de autofagossomo, funde-se a lisossomos primários, dando origem a lisossomos secundários, nesse caso denominados **vacúolos autofágicos**. No interior deles, as enzimas lisossômicas digerem a estrutura celular a ser reciclada.

Células vegetais também reciclam seus componentes por meio da autofagia, mas não formam lisossomos secundários, como as células animais. A digestão dos componentes celulares desgastados ocorre no vacúolo central, onde há enzimas digestivas semelhantes às enzimas lisossômicas. Portanto, o vacúolo central das células vegetais é comparável a um grande lisossomo secundário. Vesículas que se soltam do complexo golgiense e transportam as enzimas digestivas até o vacúolo central são comparáveis aos lisossomos primários.

4 Peroxissomos

Peroxissomos são organelas membranosas, com cerca de 0,2 μm a 1 μm de diâmetro, presentes no citoplasma de células animais e de muitas células vegetais. Eles contêm diversos tipos de oxidases, enzimas que utilizam gás oxigênio (O_2) para oxidar substâncias orgânicas, processo em que se forma, como subproduto, peróxido de hidrogênio (H_2O_2), a popular água oxigenada. Essa substância é tóxica para as células, mas os peroxissomos, apropriadamente, contêm a enzima catalase, que transforma o peróxido de hidrogênio em água e gás oxigênio.

A principal função dos peroxissomos é oxidar ácidos graxos, preparando-os para serem utilizados como matéria-prima na respiração celular, destinada à obtenção de energia, e na síntese de compostos importantes, como o colesterol, por exemplo.

Os peroxissomos são particularmente abundantes nas células do fígado e dos rins, chegando a constituir até 2% do volume das células hepáticas. Nesses órgãos, eles têm por função oxidar diversos tipos de substâncias tóxicas absorvidas do sangue, transformando-as em produtos inócuos. No fígado, os peroxissomos também participam na produção dos ácidos biliares.

1 O estudo aprofundado das células tem permitido entender os intricados caminhos que levam a determinadas doenças humanas, possibilitando eventualmente sua cura, tratamento e prevenção. Você sabia, por exemplo, que já se conhecem mais de 25 doenças resultantes de distúrbios digestivos das células?

Doença de Tay-Sachs

2 A doença de Tay-Sachs resulta de um defeito na enzima que atua em uma das etapas da digestão intracelular de um gangliosídeo, substância normalmente presente nas membranas das células nervosas, mas que tem de ser continuamente reciclada por meio da digestão dos lisossomos. As autópsias mostram que as células nervosas dos doentes estão aumentadas devido ao inchaço dos lisossomos, que ficam repletos de gangliosídios não digeridos. Os sintomas da doença começam a se manifestar no primeiro ano de vida; por volta dos dois anos, a criança já apresenta sinais de demência e geralmente morre antes dos três anos de idade.

Silicose e asbestose

3 Duas outras doenças relacionadas aos lisossomos são a silicose e a asbestose, que afetam os pulmões.

4 A **silicose** é comum em pessoas constantemente expostas a pó de sílica, como os trabalhadores de marmararias e os ceramistas, dentre outros. Os minúsculos cristais dessa substância ficam em suspensão no ar inalado e atingem os pulmões, onde são ingeridos por fagocitose por macrófagos, células de defesa que “patrulham” os alvéolos pulmonares. As partículas de sílica acumulam-se no interior dos lisossomos dos macrófagos e acabam por perfurá-los, levando ao derrame de enzimas ativas e a prejuízos às células pulmonares.

5 A **asbestose** é uma doença relacionada à inalação prolongada de poeira com alta concentração de fibras de amianto. À semelhança do que ocorre com a sílica, o amianto inalado acumula-se nos lisossomos das células dos alvéolos pulmonares e altera seu funcionamento. (Fig. 6.11)

6 O amianto, ou asbesto, pertence ao grupo dos silicatos cristalinos hidratados. Ambas as denominações referem-se ao fato de esse material ser incombustível, o que o levou a ser muito utilizado na produção de materiais antichamas. A estrutura fibrosa do amianto possui alta resistência mecânica, incombustibilidade, durabilidade e flexibilidade. Por isso, esse material é empregado na indústria, principalmente para a fabricação de telhas e caixas-d’água, de autopeças de veículos, dentre outras aplicações. O amianto já foi largamente utilizado como isolante térmico e proteção antichama nas décadas de 1940 e 1950.

7 O uso do amianto vem sendo proibido em vários países do mundo; embora ainda utilizado no Brasil, sua proibição é questão de tempo, segundo a auditora fiscal Fernanda Giannasi, do Ministério do Trabalho e Emprego, em entrevista à Agência Brasil, em 13/1/2007. Fundadora da Associação Brasileira dos Expostos ao Amianto (Abrae), ela diz que o risco de contrair doenças como câncer de pulmão ou asbestose é 57 vezes maior entre os trabalhadores do setor que são fumantes, se comparados a pessoas que não trabalham no setor e não fumam.

8 Embora para muitos essas precauções pareçam exageradas, Fernanda Giannasi sugere aos que têm um telhado de amianto que procurem instalar um forro ou alguma proteção para evitar o contato com o farelo das telhas, que se desprende principalmente com a umidade e o bolor. Ela recomenda também cuidados com a caixa-d’água, evitando o uso de escova de aço na limpeza e principalmente produtos agressivos, como a água sanitária. Deve-se tampar a caixa-d’água para impedir que ela se suje muito. O ideal, com o tempo, é substituí-la. Diz Fernanda: “Nós estamos, com a Prefeitura de São Paulo, fazendo uma campanha de esclarecimento junto à população. Essa campanha, Amianto Mata, está no site da Abrea”.

STEVE ALLEN/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK



SIMON BELCHER/ALAMY/OTHER IMAGES



Figura 6.11

À esquerda, radiografia da caixa torácica de uma pessoa cujos pulmões estão fibrosados em decorrência da asbestose. À direita, pulmões saudáveis.

Encefalopatias espongiformes transmissíveis

9 Os lisossomos estão implicados em uma série de doenças conhecidas como encefalopatias espongiformes transmissíveis, ou TSE (do inglês, *transmissible spongiform encephalopathies*). A mais conhecida delas é a **doença da vaca louca**, ou BSE (do inglês, *bovine spongiform encephalopathy*); sua correspondente humana é a nova variante da doença de Creutzfeldt-Jakob, mais conhecida pela sigla nvCJD.

10 Essas doenças caracterizam-se por uma degeneração lenta do sistema nervoso central decorrente do acúmulo de uma proteína fibrosa infectante conhecida como **príon**, geralmente adquirida pela ingestão de carne contaminada. O aspecto esponjoso do cérebro dos doentes deve-se ao acúmulo de fibras dessa proteína.

11 Os surtos da doença da vaca louca no gado bovino da Inglaterra e de alguns outros países, nas décadas de 1980 e 1990, foram provavelmente causados pela prática de enriquecer a ração dos rebanhos com proteína animal derivada de carcaças. Animais eventualmente contaminados por príons tiveram suas carcaças reduzidas a pó e serviram de alimento a animais sadios, contaminando-os. Casos de nvCJD, principalmente em pessoas na Inglaterra, foram relacionados à ingestão de carne proveniente de animais infectados por príons. O Brasil está aparentemente livre da doença porque em nossa pecuária o gado é alimentado quase exclusivamente com produtos de origem vegetal.

12 O **kuru** é uma doença neurológica causada por príon, endêmica entre nativos da Nova Guiné, e cuja transmissão está ligada a rituais de canibalismo. Nessas populações, costuma-se macerar o cérebro do cadáver e utilizá-lo no preparo de uma sopa, ingerida pelos familiares do morto. Se este era portador da encefalopatia transmissível, os familiares correm o risco de contrair a doença. Como os sintomas levam anos para se manifestar, foi difícil estabelecer a relação entre os rituais e a aquisição da enfermidade.

13 Supõe-se que, quando uma pessoa ou um animal ingerem carne contaminada por príons, estes não são digeridos no tubo digestório e penetram intactos na circulação sanguínea. Pelo sangue, os príons chegam aos nervos e aos corpos celulares dos neurônios, onde começam a fazer com que proteínas normais similares a eles se transformem em novos príons. Estes, sendo resistentes à digestão, acumulam-se nos lisossomos e acabam por causar a morte das células nervosas. A lenta destruição dos neurônios afeta o funcionamento do sistema nervoso, levando ao aparecimento dos sintomas típicos da doença: perda gradativa da memória recente e de orientação espacial, incontinência urinária, demência e morte.

GUIA DE LEITURA

1. Leia o primeiro parágrafo do quadro. Como você responderia a alguém que ache pouco importante e detalhista conhecer os distúrbios digestivos das células?
2. O segundo parágrafo apresenta a doença de Tay-Sachs. Qual é a relação dela com os lisossomos?
3. Leia os parágrafos 3, 4 e 5 do quadro, que comentam sobre duas outras doenças: a silicose e a asbestose. Qual é a relação de cada uma delas com os lisossomos?
4. Nos parágrafos 6, 7 e 8 é apresentada a polêmica entre os fabricantes de materiais que contêm amianto (caixas-d'água, telas etc.) e os que defendem o banimento total desse material nesses produtos. Você já ouviu falar nesse assunto? Considere-o como tema para uma pesquisa futura.
5. Com base na leitura do nono e do décimo parágrafos do quadro, responda: o que é a "doença da vaca louca"?
6. Leia o parágrafo de número 11, que comenta sobre a disseminação da "doença da vaca louca" na Inglaterra. Por que, segundo o texto, o Brasil está aparentemente livre da doença?
7. No décimo segundo parágrafo, é apresentado o *kuru*, doença também causada por um príon (proteína infectante). De acordo com o texto, qual é a curiosa maneira dessa doença se disseminar?
8. No último parágrafo do quadro (13º), é estabelecida a relação entre doenças causadas por príons ("doença da vaca louca" e *kuru*) e os lisossomos. Qual é ela?

5 Vacúolos da célula vegetal

A maioria das células vegetais adultas apresenta um grande **vacúolo central** que chega a ocupar até 80% do volume celular. Em células vegetais jovens, pequenos vacúolos surgem a partir de bolsas do retículo endoplasmático ou do complexo golgiense e vão aumentando progressivamente de tamanho e fundindo-se uns aos outros até constituir um vacúolo único na região central da célula. Este é delimitado por uma membrana lipoproteica semelhante às demais membranas celulares, denominada tonoplasto.

O vacúolo da célula vegetal contém uma solução aquosa ácida composta por íons inorgânicos, açúcares, aminoácidos, ácidos orgânicos e, em alguns casos, proteínas, como ocorre nas células das sementes. A concentração de sais pode tornar-se tão alta que eles cristalizam, assumindo formas geométricas específicas, como as drusas (cristais em forma de estrelas) e as ráfides (cristais em forma de agulhas). O vacúolo contém, também, inúmeras enzimas digestivas, desempenhando função semelhante à dos lisossomos das células animais.

Além de armazenar substâncias úteis, os vacúolos das células vegetais atuam como reservatório de substâncias potencialmente prejudiciais, que poderiam causar danos ao citoplasma; resíduos produzidos no metabolismo celular e toxinas como a nicotina e o tanino, por exemplo, são armazenados no vacúolo. Pigmentos solúveis em água, como as antocianinas, responsáveis pelas cores azul, violeta, púrpura e vermelho-escuro de folhas e pétalas de muitas plantas, também são armazenados no vacúolo central.

6 Citoesqueleto

Uma diferença marcante entre células procarióticas e eucarióticas é que as últimas apresentam **citoesqueleto**, uma complexa estrutura intracelular constituída por filamentos e tubos de proteína.

O citoesqueleto desempenha diversas funções: a) define a forma e organiza a estrutura interna da célula; b) permite a adesão das células a suas vizinhas e a superfícies extracelulares; c) possibilita o deslocamento de materiais no interior da célula. Além disso, ele é responsável por diversos tipos de movimento que uma célula eucariótica é capaz de realizar, como o movimento ameboide, a contração muscular, a movimentação dos cromossomos durante as divisões celulares e os movimentos de cílios e flagelos. (Fig. 6.12)

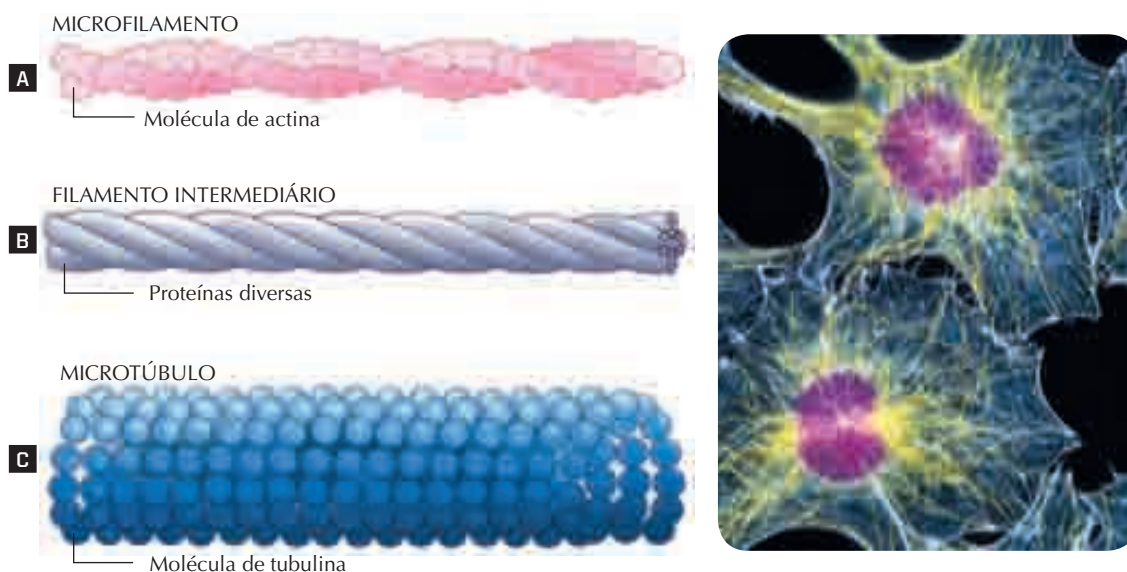


Figura 6.12 Representação esquemática dos três tipos de componentes do citoesqueleto.

A. Microfilamento, constituído por moléculas de actina. **B.** Filamento intermediário, constituído por diversos tipos de proteína. **C.** Microtúbulo, constituído por moléculas de tubulina. (Imagens sem escala, cores-fantasia.) (Baseado em Lodish, H. e cols., 2005.) A micrografia à direita, em microscópio óptico iluminado com luz ultravioleta, mostra o citoesqueleto de dois fibroblastos cujos componentes foram evidenciados em amarelo e azul, por uma técnica denominada imunofluorescência; o núcleo está evidenciado em rosa (aumento $\approx 580\times$).

Microtúbulos

Microtúbulos são tubos finíssimos e ocos constituídos por moléculas de um tipo especial de proteína, a tubulina, dispostas no espaço em um arranjo helicoidal compacto. Os microtúbulos podem aumentar ou diminuir em comprimento pela incorporação ou liberação de moléculas de tubulina em suas extremidades. Eles são constantemente desmontados e remontados em novas configurações, o que possibilita mudanças na forma da célula e redistribuição dos componentes em seu citoplasma.

Os microtúbulos originam-se sempre em um local especial do citoplasma, conhecido pela sigla MTOC, iniciais da expressão inglesa *microtubule-organizing center* (centro organizador de microtúbulos). As células animais possuem um centro organizador principal localizado perto do núcleo, na região conhecida como **centrossomo**, ou **centro celular**; é aí que se origina a maioria dos microtúbulos. As células vegetais têm vários centros organizadores de microtúbulos perto da membrana plasmática. Desses centros partem feixes de microtúbulos que se alinham sob a membrana plasmática e orientam o posicionamento de cisternas do complexo golgiense contendo componentes da parede. Desse modo, os microtúbulos definem a direção do crescimento da célula vegetal. (Fig. 6.13)

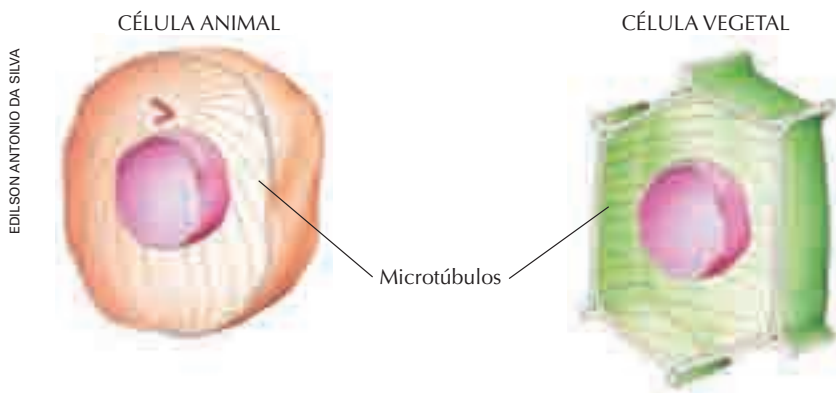


Figura 6.13 Representação esquemática de célula animal e de célula vegetal, mostrando a organização dos microtúbulos do citoesqueleto durante a fase em que a célula não se encontra em divisão (interfase). (Imagens sem escala, cores-fantasia.)

Microfilamentos ou filamentos de actina

Microfilamentos são fios com espessura entre 7 nm e 9 nm, constituídos por moléculas da proteína actina; por isso, são conhecidos também por **filamentos de actina**. A actina é a proteína intracelular mais abundante nos organismos eucarióticos. Seus filamentos dispõem-se no citoplasma de duas maneiras principais: lado a lado, formando feixes, ou entrelaçados, formando redes. O esqueleto intracelular de actina é uma estrutura dinâmica; seus microfilamentos aumentam e diminuem em comprimento, e os feixes e as redes modificam-se continuamente.

A organização compacta dos filamentos de actina logo abaixo da membrana plasmática é responsável pela consistência firme (gel) da camada periférica do citoplasma, conhecida como **ectoplasma**. Na porção mais interna da célula, os filamentos de actina dispõem-se como uma teia tridimensional frouxa, conferindo ao citoplasma dessa região, conhecida como **endoplasma**, uma consistência viscosa fluida (sol).

Os filamentos de actina podem estar associados à **miosina**, uma outra proteína filamentosa. Esses dois tipos de filamento deslizam um sobre o outro, causando contrações de partes da célula ou mesmo da célula inteira, como ocorre nos músculos. O deslizamento da miosina sobre a actina requer energia, fornecida por moléculas de ATP.

Filamentos intermediários

Filamentos intermediários recebem essa denominação por terem cerca de 10 nm de espessura, intermediária entre a dos microtúbulos (24 nm) e a dos filamentos de actina (de 7 nm a 9 nm). Eles são constituídos por diversos tipos de proteína e estão presentes em praticamente todas as células de organismos multicelulares.

Ao contrário dos microtúbulos e dos microfilamentos, os filamentos intermediários são estruturas estáveis e não participam dos movimentos celulares, um exemplo é a queratina. Sua principal função é dar sustentação à membrana plasmática nos locais de contato com as células vizinhas e com a matriz extracelular.

EDILSON ANTONIO DA SILVA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Citoesqueleto e movimento celular

O citoesqueleto, além de manter a forma da célula, permite a movimentação interna de seus componentes por meio da ciclose. Ele é responsável também pelo movimento ameboide, por meio do qual diversos tipos de célula se locomovem.

Ciclose

Ciclose é a denominação do contínuo movimento de organelas e substâncias do citosol, arrastadas por correntes citoplasmáticas resultantes da interação entre moléculas de actina e de miosina. Nesse processo, moléculas de miosina presas ao retículo endoplasmático deslizam sobre moléculas estacionárias de actina, gerando movimento. É o mesmo mecanismo que ocorre em nossas células musculares quando elas se contraem e, como este, demanda energia, fornecida pelo ATP.

A ciclose é importante para a distribuição intracelular de substâncias, principalmente em células que atingem grande tamanho, como as células vegetais e as de muitos protozoários.

Movimento ameboide

O **movimento ameboide** recebeu esse nome por ser o modo de locomoção típico das amebas; entretanto, esse tipo de movimentação é realizado por diversos tipos de célula, como os leucócitos (glóbulos brancos) de nosso sangue, por exemplo.

O movimento ameboide consiste na formação de projeções celulares denominadas **pseudópodes** (do grego *pseudo*, falso, e *podas*, pés). Como se fossem pés aderentes, os pseudópodes grudam em uma superfície e o citoplasma flui para seu interior, puxando a porção oposta da célula.

O fluxo citoplasmático no pseudópode é causado por mudanças na consistência do citoplasma, que passa de um estado mais consistente, denominado gel, para um estado mais fluido, denominado sol, e vice-versa. Quando um pseudópode se fixa ao substrato, o endoplasma (sol) flui rapidamente dentro dele e adquire a consistência de gel na camada em contato com a membrana plasmática. Na porção oposta da célula, o gel superficial adquire a consistência de sol e flui na direção do pseudópode, puxando a membrana plasmática. (Fig. 6.14)

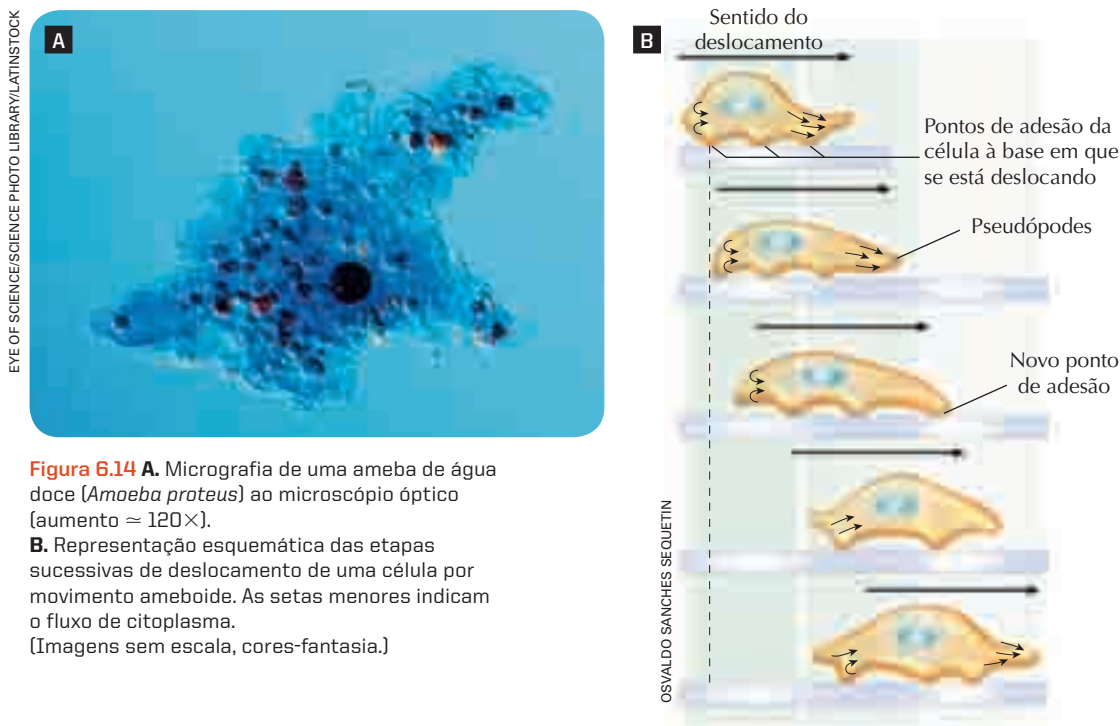


Figura 6.14 A. Micrografia de uma ameba de água doce (*Amoeba proteus*) ao microscópio óptico (aumento $\approx 120\times$).

B. Representação esquemática das etapas sucessivas de deslocamento de uma célula por movimento ameboide. As setas menores indicam o fluxo de citoplasma.

(Imagens sem escala, cores-fantasia.)

Centríolo é um pequeno cilindro oco constituído por nove conjuntos de três microtúbulos, unidos por proteínas adesivas. A maioria das células eucarióticas, com exceção dos fungos e das plantas, possui um par de centríolos orientados perpendicularmente um ao outro na região do centrossomo.

Pouco antes de uma célula animal iniciar seu processo de divisão, os centríolos do centrossomo se autoduplicam. Ao lado de cada centríolo do par original, forma-se um novo, pela agregação de moléculas de tubulina presentes no citosol. Quando a célula inicia a divisão propriamente dita, o centrossomo divide-se em dois, cada um com um par de centríolos. (Fig. 6.15)

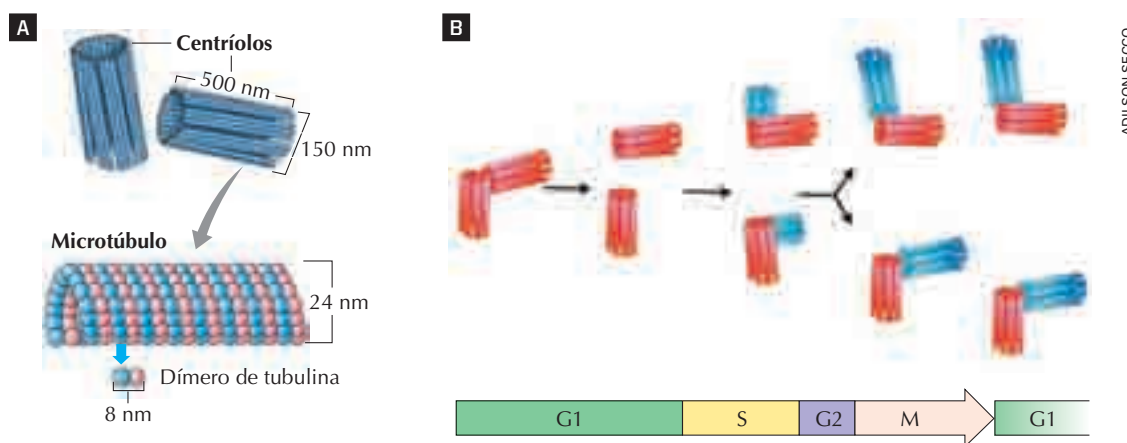


Figura 6.15 **A.** Representação esquemática de um par de centríolos e detalhe de um pedaço de microtúbulo, mostrando as moléculas de tubulina que o constituem. **B.** Comportamento dos centríolos no ciclo celular. Eles se duplicam na fase S da interfase, período em que também está ocorrendo a duplicação dos cromossomos (síntese de DNA) no núcleo (G_1 e G_2 são as outras fases da interfase, antes e depois de S). Na mitose (M), ou divisão celular, os pares de centríolos migram para polos opostos; cada par ficará em uma célula-filha. (Imagens sem escala, cores-fantasia.) (Baseado em Lodish, H. e cols., 2005.) O processo detalhado da divisão celular será estudado no capítulo 8 deste livro.

Cílios e flagelos são estruturas filamentosas móveis que se projetam da superfície celular como se fossem pelos microscópicos. Os cílios são geralmente mais curtos e ocorrem em grande número na célula, enquanto os flagelos são mais longos e menos numerosos. Os movimentos ciliares assemelham-se aos de um chicote e atingem a incrível frequência de 10 a 40 batimentos por segundo. Os flagelos executam ondulações que se propagam da base em direção à extremidade livre. (Fig. 6.16)

Cílios e flagelos têm a mesma estrutura interna e originam-se de centríolos que migram para a periferia da célula e crescem pelo alongamento de seus microtúbulos. Durante a formação de um cílio ou de um flagelo, os microtúbulos centriolares se alongam e empurram a membrana plasmática, que também cresce e passa a envolvê-los como o dedo de uma luva. Comparando cortes transversais de centríolos a cortes transversais de cílios e flagelos, nota-se que os primeiros apresentam nove conjuntos triplos de microtúbulos, enquanto cílios e flagelos apresentam nove conjuntos duplos periféricos, além de dois microtúbulos centrais, ausentes nos centríolos.

A principal função de cílios e de flagelos é a locomoção celular. É por meio do movimento ciliar ou flagelar que a maioria dos protozoários e dos gametas masculinos de algas, de animais e de certas plantas consegue nadar no meio líquido. Alguns organismos, como certos protozoários e moluscos, criam correntes na água com o batimento de seus cílios, fazendo com que partículas alimentares sejam arrastadas até eles. Nossa traqueia é revestida internamente por células ciliadas, que estão sempre varrendo para fora o muco que lubrifica as vias respiratórias; nesse muco ficam presas bactérias e partículas inaladas junto com o ar.

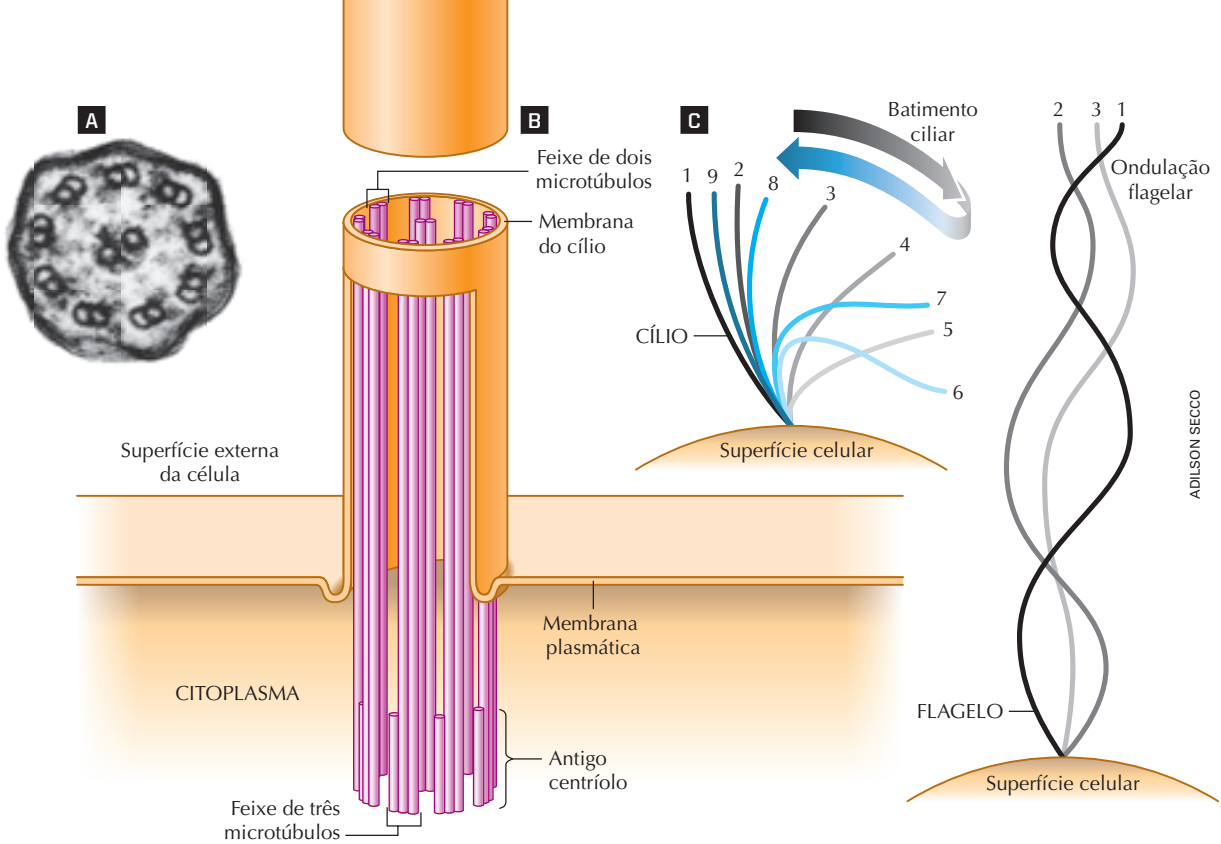


Figura 6.16 **A.** Micrografia de cílio cortado transversalmente (microscópio eletrônico de transmissão; aumento $\approx 125.000\times$). **B.** Representação tridimensional esquemática de um cílio parcialmente cortado para mostrar sua organização interna. **C.** Representação esquemática da movimentação de um cílio e de um flagelo, como seriam vistos em uma fotografia de múltipla exposição. O cílio movimenta-se como um chicote, com de 10 a 40 “chicotadas” por segundo. Os flagelos, mais longos que os cílios, executam ondulações. (Em **B** e **C**, imagens sem escala, cores-fantasia.)

9 Mitocôndrias

Mitocôndrias são organelas citoplasmáticas, em geral com forma de bastonete e cerca de $2\ \mu\text{m}$ de comprimento por $0,5\ \mu\text{m}$ de diâmetro. Seu número na célula varia de dezenas a centenas, dependendo do tipo celular.

As mitocôndrias são delimitadas por duas membranas lipoproteicas. A mais externa é lisa e semelhante às demais membranas celulares, enquanto a membrana interna tem composição química diferente e apresenta dobras chamadas de cristas mitocondriais, que se projetam para o interior da organela. Este é preenchido por um líquido viscoso – a matriz mitocondrial – que contém diversas enzimas, DNA, RNA e ribossomos menores que os citoplasmáticos e muito semelhantes aos ribossomos bacterianos. (Fig. 6.17)

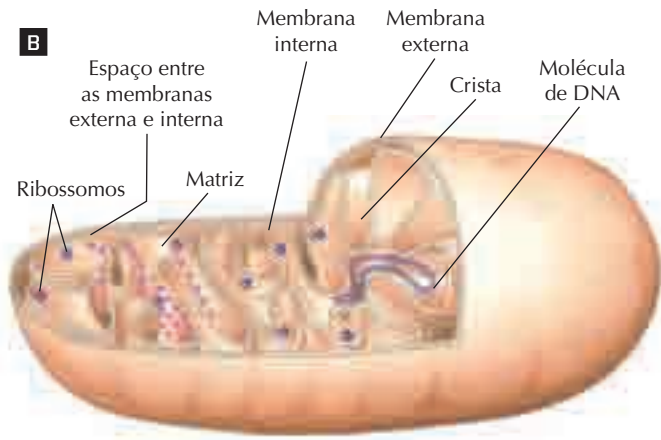
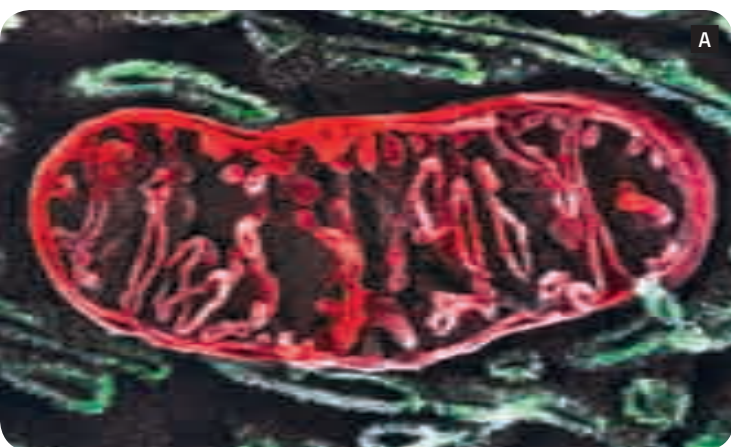


Figura 6.17 **A.** Micrografia de uma mitocôndria parcialmente cortada, entre tubos e bolsas membranosos do citoplasma (microscópio eletrônico de varredura, colorizada artificialmente; aumento $\approx 120.000\times$). **B.** Representação esquemática de uma mitocôndria com uma parte removida para visualizar seus componentes internos. (Imagem sem escala, cores-fantasia.)

Nas mitocôndrias, ocorre a **respiração aeróbia**, processo em que moléculas orgânicas provenientes do alimento reagem com gás oxigênio (O_2), formando gás carbônico (CO_2) e água (H_2O) e liberando energia, que é armazenada em moléculas de ATP (trifosfato de adenosina). O ATP produzido nas mitocôndrias difunde-se para as outras regiões da célula e fornece energia para as mais diversas atividades celulares.

Autoduplicação das mitocôndrias

Mitocôndrias surgem exclusivamente por autoduplicação de mitocôndrias preexistentes. Quando a célula se divide, originando duas células-filhas, cada uma delas recebe aproximadamente metade do número de mitocôndrias existentes na célula-mãe. À medida que as células crescem, suas mitocôndrias se autoduplicam, restabelecendo o número original.

A complexidade das mitocôndrias, o fato de possuírem genes, sua capacidade de autoduplicação e a semelhança genética e bioquímica com certas bactérias sugerem que essas organelas sejam descendentes de seres procarióticos primitivos, que um dia se instalaram no citoplasma de primitivas células eucarióticas. Essa explicação para a origem evolutiva das mitocôndrias (e também dos plastos), já mencionada no capítulo 2, é conhecida como hipótese endossimbiótica ou simbiogênese.

Um fato interessante sobre as mitocôndrias é que, em animais com reprodução sexuada, essas organelas têm sempre origem materna. Apesar de os gametas masculinos possuírem mitocôndrias, elas degeneram logo após a fecundação, de modo que todas as mitocôndrias do zigoto, e conseqüentemente as de todas as células do novo indivíduo, descendem das que estavam presentes no gameta feminino.

10 Plastos

Plastos são organelas citoplasmáticas presentes apenas em células de plantas e de algas. Sua forma e tamanho variam conforme o tipo de organismo e da célula em que se encontram. Em algumas algas e em certas briófitas, cada célula possui apenas um ou poucos plastos, de grande tamanho e forma característica. Em células de outras algas e plantas, os plastos são menores e estão presentes em grande número. Células da folha de plantas angiospermas podem conter entre 40 e 50 plastos. Há três tipos principais de plastos: cloroplastos, cromoplastos e leucoplastos. (Fig. 6.18)

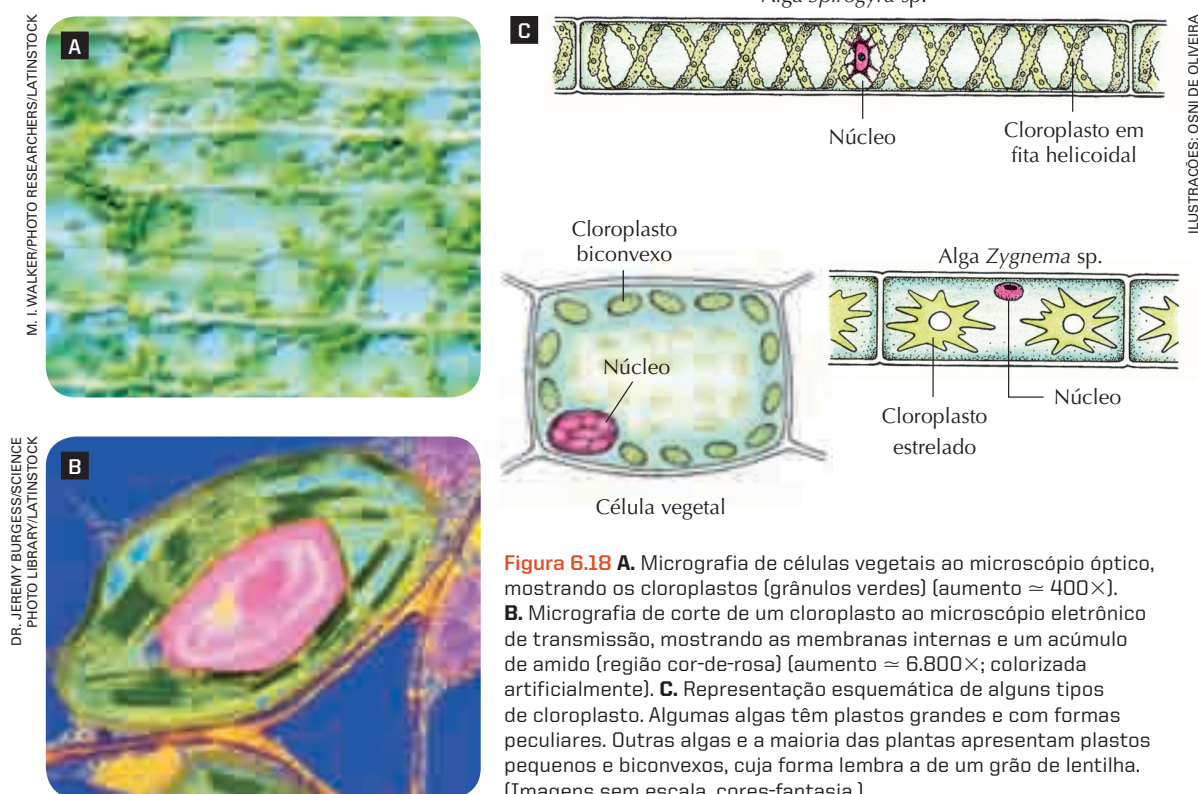


Figura 6.18 A. Micrografia de células vegetais ao microscópio óptico, mostrando os cloroplastos (grânulos verdes) (aumento $\approx 400\times$). B. Micrografia de corte de um cloroplasto ao microscópio eletrônico de transmissão, mostrando as membranas internas e um acúmulo de amido (região cor-de-rosa) (aumento $\approx 6.800\times$; colorizada artificialmente). C. Representação esquemática de alguns tipos de cloroplasto. Algumas algas têm plastos grandes e com formas peculiares. Outras algas e a maioria das plantas apresentam plastos pequenos e biconvexos, cuja forma lembra a de um grão de lentilha. [Imagens sem escala, cores-fantasia.]

Cloroplastos

O principal tipo de plasto é o **cloroplasto**, que se caracteriza por apresentar cor verde, decorrente da presença do pigmento clorofila. Um cloroplasto típico tem forma de lentilha alongada, com cerca de 4 μm de comprimento por de 1 a 2 μm de espessura. A maioria dos cloroplastos possui duas membranas lipoproteicas e um complexo membranoso interno formado por pequenas bolsas discoidais achatadas e empilhadas. No entanto, há cloroplastos com três membranas, como os do protista clorofilado *Euglena* sp., e mesmo com quatro membranas, como os das algas diatomáceas e das algas marrons. (Fig. 6.19)

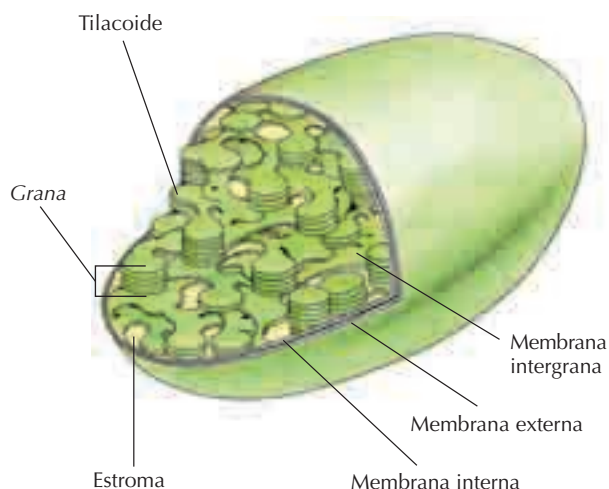


Figura 6.19 Representação esquemática de um cloroplasto parcialmente cortado, mostrando a estrutura interna. O pigmento clorofila localiza-se nas membranas dos tilacoides e nas membranas intergrana. (Imagem sem escala, cores-fantasia.)

O espaço interno do cloroplasto é preenchido por um líquido semelhante ao que preenche as mitocôndrias, nesse caso denominado estroma. Nele, há enzimas, DNA, RNA, além de ribossomos semelhantes aos das células bacterianas. As moléculas do pigmento mais abundante no cloroplasto, a **clorofila**, dispõem-se organizadamente em suas membranas internas, de modo a captar a luz solar com a máxima eficiência. Nos cloroplastos, ocorre o processo de **fotossíntese**, no qual moléculas de gás carbônico (CO_2) e de água (H_2O) reagem formando glicídios e gás oxigênio (O_2). A energia necessária a essa reação provém da luz. Assim, por meio da fotossíntese, algas e plantas produzem glicídios, utilizados em suas próprias mitocôndrias para a produção de ATP. Como produzem seu próprio alimento, esses organismos são chamados de autotróficos. O processo bioquímico da fotossíntese será estudado mais detalhadamente no capítulo 9 deste livro.

Cromoplastos e leucoplastos

Alguns plastos não têm clorofila, e sim pigmentos vermelhos ou amarelos, sendo por isso denominados **cromoplastos** (do grego, *chromos*, cor). Essas organelas são responsáveis pelas cores de certos frutos e flores, de algumas raízes, como a cenoura, e de folhas que se tornam amareladas ou avermelhadas no outono. A função dos cromoplastos nas plantas ainda não é bem conhecida.

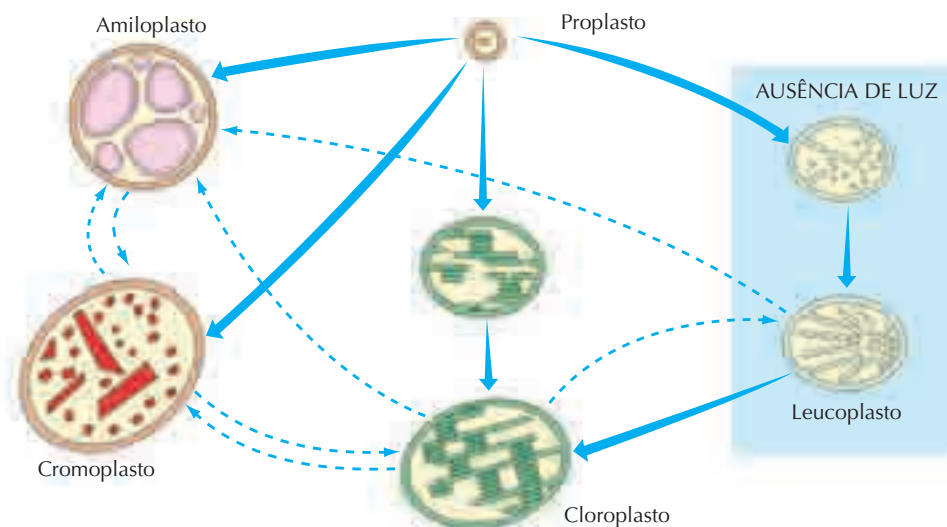
Certos tipos de plasto não possuem pigmentos, sendo por isso chamados de **leucoplastos** (do grego *leukos*, branco). Eles estão presentes em certas raízes e caules tuberosos, e sua função é o armazenamento de amido. Esse polissacarídeo é fabricado a partir de glicídios produzidos na fotossíntese e acumula-se no leucoplasto, podendo ocupar totalmente o interior da organela, que cresce e se transforma em um **amiloplasto** (ou grão de amido). Em momentos de necessidade, o amido pode ser reconvertido em glicose e utilizado pela célula como matéria-prima e fonte de energia.

Autoduplicação dos plastos

Plastos se multiplicam por autoduplicação. Quando uma célula vegetal se divide e origina duas células-filhas, cada uma delas recebe aproximadamente metade do número de plastos existentes na célula-mãe. À medida que as células-filhas crescem, os plastos se autoduplicam, restabelecendo sua quantidade original em cada uma das células.

Células embrionárias de plantas contêm pequenas bolsas incolores com de 0,2 μm a 1 μm de diâmetro, os **proplastos**, que originam os plastos das células adultas. Proplastos contêm DNA, RNA e ribossomos, sendo capazes de produzir diversas proteínas. Eles têm origem exclusivamente materna, de modo que todos os plastos que uma planta virá a ter originam-se de proplastos presentes no gameta feminino.

Plastos de determinado tipo também podem se transformar em outro; leucoplastos, por exemplo, podem se transformar em cloroplastos e vice-versa, e ambos podem originar cromoplastos. (Fig. 6.20)



ADILSON SECCO

Figura 6.20 Representação esquemática de diferentes tipos de plastos. Originalmente, eles desenvolvem-se a partir de proplastos presentes no gameta feminino. Os proplastos originam os diversos tipos de plastos da planta, dependendo do tipo de célula e do ambiente em que ela se encontra. Plastos de um tipo podem transformar-se em outro tipo, como indicado pelas linhas tracejadas. [Imagens sem escala, cores-fantasia.](Baseado em Raven, P. e cols., 2007.)

ATIVIDADES

Escreva as respostas no caderno

QUESTÕES PARA PENSAR E DISCUTIR

Questões objetivas

Considere as alternativas a seguir para responder às questões de 1 a 4.

- Complexo golgiense.
 - Cloroplasto.
 - Mitocôndria.
 - Ribossomo.
- Em que organela ocorre um processo no qual substâncias provenientes do alimento reagem com gás oxigênio liberando energia, a qual é armazenada em moléculas de ATP?
 - Qual é a organela celular que capta energia luminosa e a utiliza para fabricar glicídios a partir de gás carbônico e água?
 - Qual é a estrutura celular diretamente responsável pela produção de proteínas?
 - Qual é a estrutura celular responsável pelo empacotamento e pela secreção de substâncias?

- O processo de eliminação de substâncias úteis pelas células, a cargo do complexo golgiense, é a
 - digestão intracelular.
 - fotossíntese.
 - respiração celular.
 - secreção celular.

- O processo de quebra enzimática de substâncias orgânicas que ocorre no interior dos lisossomos é a
 - digestão intracelular.
 - fotossíntese.
 - respiração celular.
 - secreção celular.

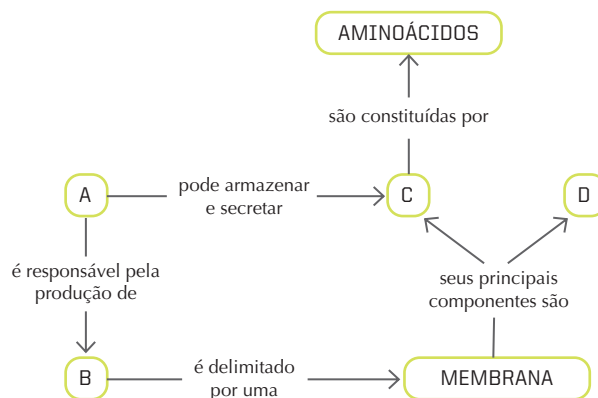
Considere as alternativas a seguir para responder às questões de 7 a 10.

- Fotossíntese.
 - Digestão intracelular.
 - Respiração celular.
 - Síntese de proteínas.
- Qual é a principal função do cloroplasto?
 - Qual é a principal função do lisossomo?
 - Qual é a principal função da mitocôndria?
 - Qual é a principal função do retículo endoplasmático granuloso?
 - Empacotamento de substâncias, secreção celular e produção de lisossomos são funções do

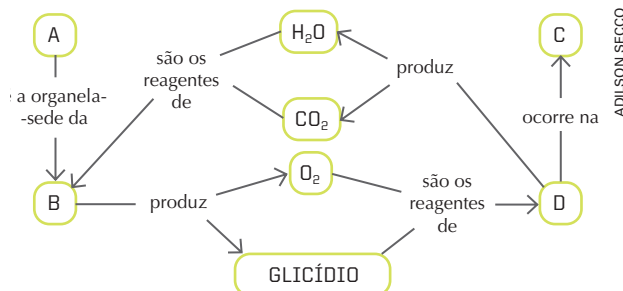
- a) complexo golgiense.
b) centríolo.
c) retículo granuloso.
d) cloroplasto.
12. A síntese de lipídios na célula ocorre no
a) retículo não granuloso.
b) retículo granuloso.
c) complexo golgiense.
d) lisossomo.
13. A vesícula acrossômica presente no acrossomo dos espermatozoides forma-se diretamente a partir
a) das mitocôndrias.
b) do centríolo.
c) do retículo granuloso.
d) do complexo golgiense.
14. Qual das estruturas celulares abaixo está presente em praticamente todas as células animais e vegetais?
a) Cloroplastos. c) Centríolos.
b) Mitocôndrias. d) Cílios.
15. Qual das alternativas abaixo indica o caminho de uma enzima que irá atuar fora da célula, desde o local de sua produção até o local de atuação?
a) Complexo golgiense – retículo endoplasmático granuloso – meio extracelular.
b) Complexo golgiense – lisossomo – meio extracelular.
c) Retículo endoplasmático granuloso – complexo golgiense – meio extracelular.
d) Retículo endoplasmático granuloso – lisossomo – meio extracelular.
16. Quando um organismo é privado de alimento e as reservas de seu corpo se esgotam, como estratégia de sobrevivência no momento de crise, as células passam a digerir partes de si mesmas. As estruturas celulares diretamente responsáveis por esse processo de autofagia são
a) cílios.
b) lisossomos.
c) mitocôndrias.
d) ribossomos.
17. Certas células que revestem internamente nossa traqueia produzem e eliminam pacotes de substâncias mucosas, que lubrificam e protegem a superfície traqueal. Qual é a organela citoplasmática diretamente responsável por essa eliminação de muco?
a) Complexo golgiense.
b) Mitocôndria.
c) Ribossomo.
d) Vacúolo digestivo.

As questões de 18 a 21 referem-se ao diagrama que relaciona os quatro conceitos apresentados a seguir.

- a) Complexo golgiense.
b) Lipídios.
c) Lisossomos.
d) Proteínas.



18. Qual dos conceitos melhor corresponde a A?
19. Qual dos conceitos melhor corresponde a B?
20. Qual dos conceitos melhor corresponde a C?
21. Qual dos conceitos melhor corresponde a D?
As questões de 22 a 25 referem-se ao diagrama que relaciona os quatro conceitos apresentados a seguir.
a) Cloroplasto.
b) Fotossíntese.
c) Mitocôndria.
d) Respiração celular.



22. Qual dos conceitos melhor corresponde a A?
23. Qual dos conceitos melhor corresponde a B?
24. Qual dos conceitos melhor corresponde a C?
25. Qual dos conceitos melhor corresponde a D?

Questões discursivas

26. Espera-se encontrar maior quantidade de mitocôndrias em uma célula de pele ou de músculo? Por quê?
27. Em uma planta, espera-se encontrar maior quantidade de cloroplastos nas células das raízes ou nas células das folhas? Por quê?
28. Qual é a relação entre o retículo endoplasmático e o complexo golgiense na secreção de uma enzima por uma célula animal?
29. Sistematizar informações, de modo a poder compará-las com facilidade e rapidez, é uma atividade importante no estudo de qualquer assunto. Nossa proposta é que você sistematize as informações do capítulo sobre as organelas celulares construindo uma **tabela**. Consultando o texto, as figuras e as legendas, organize as seguintes informações sobre cada uma das organelas:

- breve descrição da forma;
- breve descrição da função;
- tipos de organismo em que ocorre (por exemplo, em células eucarióticas ou apenas em células vegetais etc.). (Se tiver dificuldades para isso, peça ajuda ao professor.) Acrescente à tabela qualquer outra informação que julgar importante.

VESTIBULARES PELO BRASIL

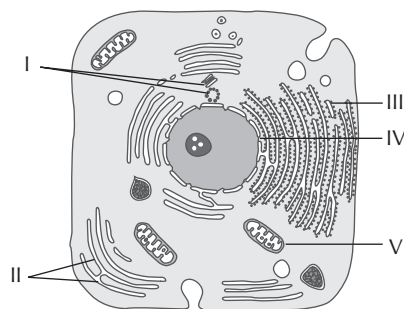
Questões objetivas

- (Unifap) Qual das afirmativas abaixo apresenta organelas citoplasmáticas em intensa atividade em uma célula glandular?
 - Lisossomas e complexo de Golgi.
 - Complexo de Golgi e mitocôndrias.
 - Retículo endoplasmático e mitocôndrias.
 - Retículo endoplasmático e complexo de Golgi.
 - Lisossomas e retículo endoplasmático.

- (UFPA) Milhões de espermatozoides disputam uma “verdadeira maratona” até o óvulo, que culmina com a entrada de um deles. Essa “corrida” e a penetração no óvulo ocorrem graças a duas organelas celulares. Uma delas possibilita a agitação dos flagelos; a outra origina uma bolsa de enzimas digestivas — o acrossomo —, cuja função é perfurar o óvulo.

O texto refere-se, respectivamente, às seguintes organelas citoplasmáticas:

- retículo endoplasmático e ribossomos.
 - complexo de Golgi e lisossomos.
 - microtúbulos e centríolos.
 - vacúolos e microtúbulos.
 - mitocôndria e complexo de Golgi.
- (Unifor-CE) A figura abaixo esquematiza os componentes de uma célula animal. Relacionam-se, respectivamente, com síntese e transporte de lipídios e com síntese e transporte de proteínas



- I e II.
 - II e III.
 - III e IV.
 - IV e V.
 - V e IV.
- (UFC-CE) Células animais com função secretora apresentam abundância de **retículo endoplasmático granuloso** (rugoso) e **complexo golgiense**, estruturas que se localizam próximas uma à outra e que trabalham em conjunto. Nesse trabalho em parceria, o retículo endoplasmático granuloso

- libera proteínas digestivas em vesículas denominadas lisossomos, que atuarão em conjunto com os tilacoides do complexo golgiense.
- produz fosfolipídios de membrana que serão processados no complexo golgiense e liberados no citoplasma para formação de novos ribossomos.
- sintetiza proteínas e as transfere para o complexo golgiense, que as concentra e as libera em vesículas, que terão diferentes destinos na célula.
- funde-se ao complexo golgiense para formar o acrossomo dos espermatozoides, responsável pela digestão da parede do óvulo e pela penetração nesse.
- acumula os polissacarídios de parede celular, produzidos no complexo golgiense, e os processa, antes de liberar as vesículas que se fundirão com a membrana plasmática.

- (UFS-SE-Adaptado) Qual a alternativa da tabela abaixo cujos termos substituem corretamente os algarismos I e II na frase seguinte?

Os lisossomos têm como função (I) e são produzidos na organela chamada (II).

	I	II
a)	síntese de proteínas	cloroplasto
b)	síntese de açúcares	cloroplasto
c)	digestão intracelular	retículo endoplasmático
d)	síntese de proteínas	retículo endoplasmático
e)	digestão intracelular	complexo de Golgi

- (UFC-CE) Suponha que você esteja trabalhando com uma suspensão de células animais, a partir da qual você deseje isolar uma proteína. Durante a preparação, vários lisossomos sofrem ruptura. Como consequência disso, ocorreria
 - liberação de ácidos nucleicos, que dificultariam o isolamento da macromolécula que você está tentando obter.
 - liberação de ATP, que facilitaria o processo de isolamento da macromolécula de seu interesse.
 - liberação de enzimas, que poderiam digerir a macromolécula que você está tentando isolar.
 - liberação de macromoléculas proteicas recém-sintetizadas nos lisossomos, o que aumentaria a quantidade da proteína a ser obtida.
 - interrupção da síntese de proteínas enzimáticas nos lisossomos, diminuindo a quantidade da proteína a ser obtida.

- (UFCG-PB) A inalação da poeira com sílica, comum entre operários que trabalham com rochas ornamentais (por exemplo, granito e caulim), está associada à ocorrência de silicose, doença pulmonar obstrutiva crônica, e aumento de risco de câncer de pulmão, insuficiência renal e tuberculose pulmonar.

Análise as afirmativas:

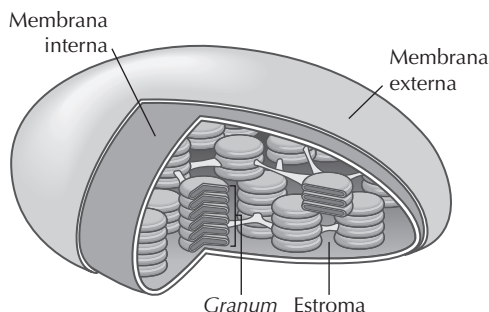
- Os lisossomos dos pneumócitos contêm enzimas que digerem a sílica incorporada por endocitose.

- II. O acúmulo de partícula de sílica no interior dos lisossomos acaba por perfurá-los, liberando enzimas e há destruição generalizada de células pulmonares, causando a silicose.
- III. A sílica ou dióxido de silício é um composto natural formado pelos dois elementos químicos mais abundantes na crosta terrestre: o oxigênio e o silício.
- IV. O termo silicose é dado à fibrose pulmonar causada pela respiração de poeira contendo sílica cristalina, sendo a mais frequente das pneumoconioses.

É **correto** o que se afirma em

- a) I, III e IV.
b) II, III e IV.
c) I, II e III.
d) I, II e IV.
e) I, II, III e IV.

8. (UEPB) A figura abaixo esquematizada representa uma organela citoplasmática. Identifique a que estrutura pertence.

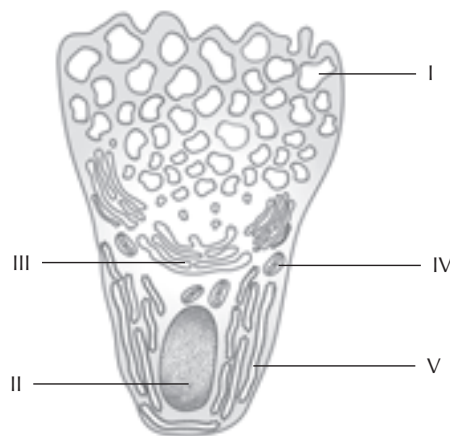


- a) Cloroplasto.
b) Complexo golgiense.
c) Mitocôndrias.
d) Retículo endoplasmático granuloso.
e) Ribossomos.

9. (UFMS) Verifique quais são as relações apropriadas entre as organelas celulares e suas funções e determine a(s) alternativa(s) correta(s). [Dê como resposta a soma dos números associados às proposições corretas.]
- 001) Os lisossomos fazem a respiração celular.
- 002) O complexo de Golgi armazena as proteínas a serem exportadas pelas células.
- 004) O retículo endoplasmático liso é responsável pelo transporte intracelular de substâncias.
- 008) Os ribossomos são responsáveis pela síntese de proteínas.
- 016) A mitocôndria realiza a digestão de materiais orgânicos absorvidos pelas células.
- 032) Os ribossomos são também responsáveis pela respiração celular.

10. (UEMS) Os centríolos são organelas celulares relacionadas
- a) à formação de cílios e flagelos.
b) ao transporte de material extracelular.
c) ao surgimento de vacúolos autofágicos.
d) ao processo de recombinação gênica.
e) ao fenômeno de plasmólise.

11. (UFMT) Mitocôndrias são organelas presentes nas células eucarióticas cuja principal função é
- a) digestão celular.
b) secreção de proteínas.
c) transporte de nutrientes.
d) orientação da divisão celular.
e) respiração celular.
12. (FCM-MG) A célula esquematizada abaixo é responsável pela síntese e secreção de uma glicoproteína. O local da síntese e o da formação das vesículas de secreção são representados, respectivamente, pelas organelas de números



OSVALDO SANCHES SEQUETIN

- a) IV e II.
b) IV e III.
c) V e III.
d) V e IV.

13. (Vunesp) No homem, o revestimento interno da traqueia apresenta células secretoras de muco que a lubrificam e a umedecem. A informação sobre a natureza secretora destas células permite inferir que elas são especialmente ricas em estruturas citoplasmáticas do tipo
- a) mitocôndrias e retículo endoplasmático liso.
b) retículo endoplasmático granular e aparelho de Golgi.
c) mitocôndrias e aparelho de Golgi.
d) lisossomos e aparelho de Golgi.
e) retículo endoplasmático granular e mitocôndrias.
14. (UFF-RJ) O acrossomo, presente nos espermatozoides maduros, é essencial para a fecundação. A formação do acrossomo ocorre a partir do
- a) peroxissomo.
b) lisossomo.
c) complexo de Golgi.
d) centríolo.
e) retículo endoplasmático liso.

15. (Vunesp-Adaptado) Se fôssemos comparar a organização e o funcionamento de uma célula eucarionte com o que ocorre em uma cidade, poderíamos estabelecer determinadas analogias. Por exemplo, a membrana plasmática seria o perímetro urbano e o hialoplasma corresponderia ao espaço ocupado pelos edifícios, ruas e casas com seus habitantes. O quadro reúne algumas similaridades funcionais entre cidade e célula eucarionte.

Cidade	Célula eucarionte
I Ruas e avenidas	1 Mitocôndrias
II Silos e armazéns	2 Lisossomos
III Central elétrica (energética)	3 Retículo endoplasmático
IV Casas com aquecimento solar	4 Complexo de Golgi
V Restaurantes e lanchonetes	5 Cloroplastos

Correlacione os locais da cidade com as principais funções correspondentes às organelas celulares e qual a alternativa correta?

- I-3, II-4, III-1, IV-5 e V-2.
- I-4, II-3, III-2, IV-5 e V-1.
- I-3, II-4, III-5, IV-1 e V-2.
- I-1, II-2, III-3, IV-4 e V-5.
- I-5, II-4, III-1, IV-3 e V-2.

16. (Fuvest-SP) As estruturas presentes em uma célula vegetal, porém ausentes em uma bactéria, são:
- cloroplastos, lisossomos, núcleo e membrana plasmática.
 - vacúolos, cromossomos, lisossomos e ribossomos.
 - complexo golgiense, membrana plasmática, mitocôndrias e núcleo.
 - cloroplastos, mitocôndrias, núcleo e retículo endoplasmático.
 - cloroplastos, complexo golgiense, mitocôndrias e ribossomos.
17. (Unifal-MG) Um aluno recebeu nove cartões, sendo que cada cartão continha uma característica ou uma estrutura celular.

Cartões		
1. lisossomo	2. membrana plasmática	3. ribossomo
4. núcleo	5. centríolos	6. cloroplasto
7. mitocôndria	8. nucleóide	9. parede celular

A tarefa desse aluno era formar dois grupos com três cartões em cada grupo. No **Grupo I**, deveriam ser incluídos cartões que continham estruturas ou características encontradas em células de procariontes, como, por exemplo, bactérias. No **Grupo II**, deveriam ser incluídos cartões que continham características ou estruturas encontradas em células eucariontes vegetais.

Determine a alternativa que apresenta corretamente os Grupos I e II.

- Grupo I** — Cartões 2, 3, e 8; **Grupo II** — Cartões 4, 7 e 9
- Grupo I** — Cartões 1, 3 e 5; **Grupo II** — Cartões 2, 3 e 4
- Grupo I** — Cartões 1, 2 e 7; **Grupo II** — Cartões 1, 6 e 9

18. (Unifesp) No grão de arroz que ingerimos, o amido contido em seu interior encontra-se armazenado, inicialmente,
- dentro do vacúolo da célula vegetal.
 - em grânulos dispersos pelo citoplasma.
 - no estroma dentro dos cloroplastos.
 - nos espaços intercelulares da semente.
 - nas vesículas do complexo de Golgi.

19. (UEL-PR) Um estudante de Biologia, ao observar um microrganismo ao microscópio eletrônico, visualizou uma célula com material genético disperso no citoplasma e ausência de estruturas intracelulares, como mitocôndria, retículo endoplasmático e complexo de Golgi.

Baseado no texto e nos conhecimentos sobre o tema, é correto afirmar que se tratava de

- vírus.
- fungo.
- protozoário.
- bactéria.
- alga.

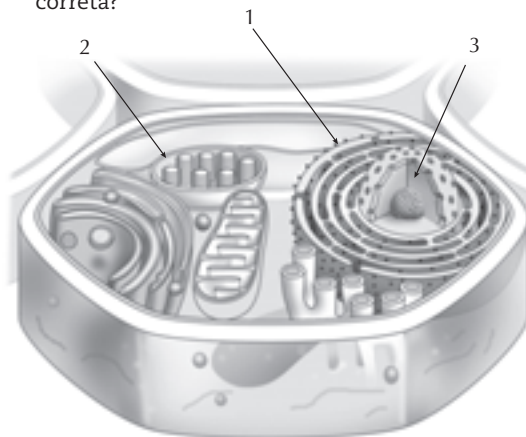
20. (UFRGS-RS) Em um experimento em que foram injetados aminoácidos radioativos em um animal, a observação de uma de suas células mostrou os seguintes resultados: após 3 minutos, a radioatividade estava localizada na organela X (demonstrando que a síntese de proteínas ocorria naquele local); após 20 minutos, a radioatividade passou a ser observada na organela Y; 90 minutos depois, verificou-se a presença de grânulos de secreção radioativos, uma evidência de que as proteínas estavam próximas de serem exportadas.

As organelas X e Y referidas no texto são, respectivamente,

- o complexo golgiense e o lisossomo.
- o retículo endoplasmático liso e o retículo endoplasmático rugoso.
- a mitocôndria e o ribossomo.
- o retículo endoplasmático rugoso e o complexo golgiense.
- o centríolo e o retículo endoplasmático liso.

21. (UFRGS-RS-Adaptado) Observe, abaixo, o desenho de uma célula. A partir da análise do desenho pode-se afirmar que se trata de uma célula (■). O número 1 representa (■), o número 2 corresponde (■) e o número 3 refere-se à estrutura responsável por (■).

Qual a alternativa que substitui respectivamente os quadros escuros na descrição anterior de forma correta?



OSVALDO SANCHES SEQUETIN

- vegetal — o retículo endoplasmático — à mitocôndria — proteger a célula
- animal — o aparelho de Golgi — ao cloroplasto — armazenar água e sais minerais
- animal — o retículo endoplasmático — à mitocôndria — digerir partículas celulares
- vegetal — o retículo endoplasmático — ao cloroplasto — organizar os ribossomos

22. (Cesupa-PA) A célula é a menor unidade componente dos seres vivos que conserva as características da vida. A tabela a seguir apresenta dados referentes à presença (+) ou ausência (–) de alguns componentes das células X, Y e Z.

Componentes celulares	Células		
	X	Y	Z
Cloroplastos	–	+	–
Complexo de Golgi	+	+	–
Envoltório nuclear	+	+	–
Mitocôndrias	+	+	–
Núcleo	+	+	–
Parede celular	–	+	+
Ribossomos	+	+	+

Os dados permitem dizer que

- X é uma bactéria.
 - Z é um vírus.
 - Y e Z são células de origem animal.
 - X e Y são células eucarióticas; Z é procariótica.
23. (UFPB) Os organismos como os cajueiros, os gatos, as amebas e as bactérias possuem, em comum, as estruturas
- lisossomos e peroxissomos.
 - retículo endoplasmático e complexo de Golgi.
 - retículo endoplasmático e ribossomos.
 - ribossomos e membrana plasmática.
 - ribossomos e centríolos.
24. (UFRN) Uma célula animal que sintetiza, armazena e secreta enzimas deverá ter bastante desenvolvidos o
- retículo endoplasmático granular e o complexo de Golgi.
 - retículo endoplasmático agranular e o complexo de Golgi.
 - retículo endoplasmático granular e os lisossomos.
 - complexo de Golgi e os lisossomos.
 - complexo de Golgi e condrioma.

25. (UEPB) Numere as funções dos elementos da coluna da direita de acordo com os seus correspondentes na coluna da esquerda.

I. Cromossomo	A. Secreção celular
II. Carioteca	B. Controle da estrutura e do funcionamento celular
III. Mitocôndria	C. Equilíbrio osmótico e armazenamento
IV. Vacúolo central	D. Respiração celular aeróbia
V. Complexo golgiense	E. Controle do fluxo de substâncias entre o núcleo e o citoplasma

Determine a alternativa correta.

- I-E, II-D, III-A, IV-C e V-B
- I-E, II-A, III-B, IV-D e V-C
- I-D, II-C, III-E, IV-B e V-A
- I-E, II-A, III-B, IV-C e V-D
- I-B, II-E, III-D, IV-C e V-A

Questões discursivas

26. (UFU-MG) Explique como os lisossomos são formados na célula e descreva a sua função, relacionando-a com a fagocitose.
27. (UMC-SP) Que se entende por função autofágica e função heterofágica dos lisossomos?
28. (Unesp) Em uma prova de Biologia, um aluno deparou-se com duas figuras de células. Uma figura representava uma célula vegetal e outra representava uma célula animal.



Figura A

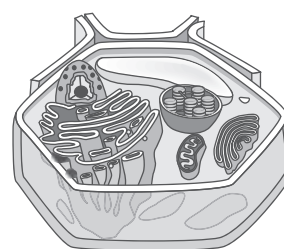
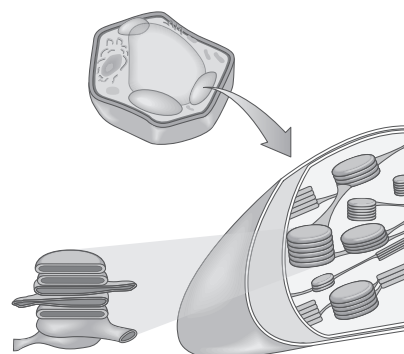


Figura B

Identifique qual das figuras, A ou B, representa a célula vegetal, citando as estruturas celulares que permitem ao estudante identificá-la corretamente. Qual(is) destas estruturas permite(m) utilizar a luz na produção da matéria orgânica de que necessita?

29. (UFRJ) A célula possui diversas organelas com funções próprias e que, muitas vezes, estão relacionadas entre si. Dos processos como digestão intracelular, difusão e transporte ativo, em qual deles a mitocôndria tem participação imprescindível? Explique.
30. (Unimontes-MG) As organelas celulares são responsáveis pela manutenção da célula por meio da realização de diferentes funções. A figura a seguir representa uma dessas estruturas. Observe-a.



ADILSON SECCO

De acordo com a figura e o assunto abordado, responda às seguintes questões:

- Qual é a organela contemplada na figura anterior?
- Em qual tipo de célula ela pode ser encontrada?
- Indique sua principal função.

Núcleo e cromossomos

O núcleo celular contém os cromossomos, nos quais se encontram as informações que comandam a vida das células: os genes.

Neste capítulo estudaremos a organização do núcleo, as características gerais dos cromossomos e sua importância para as células.

7.1 Componentes do núcleo celular

O núcleo celular, descoberto por Robert Brown em 1833, é o centro de controle das atividades celulares.

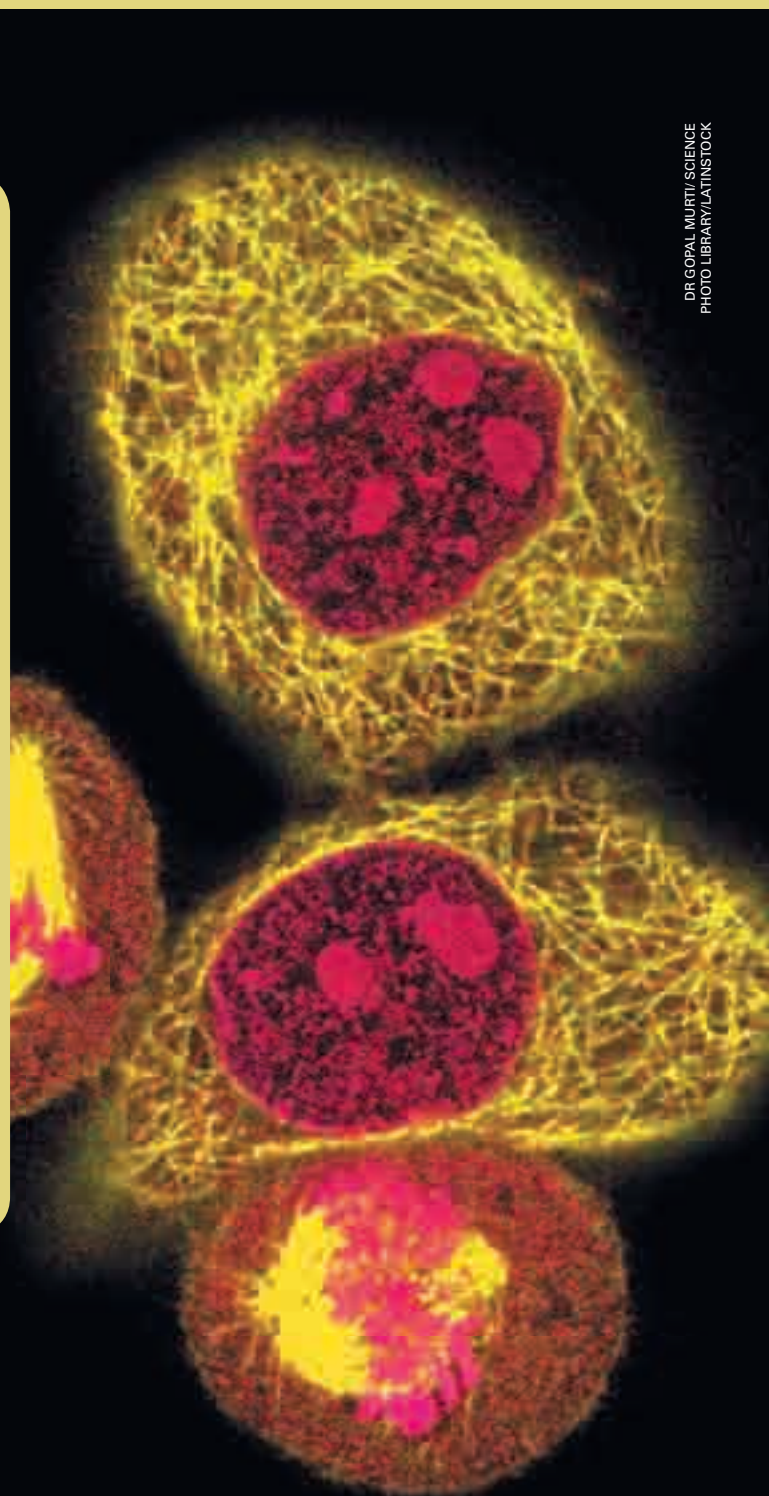
7.2 Cromossomos da célula eucariótica

Cada cromossomo contém uma única molécula de DNA com informações codificadas – os genes – que controlam o funcionamento da célula.

7.3 Cromossomos humanos

O estudo dos cromossomos humanos permite identificar alterações cromossômicas e prever, em certos casos, o risco de uma pessoa vir a ter filhos afetados por doenças hereditárias.

Células humanas em diferentes estágios do ciclo celular. As células maiores, com o núcleo bem evidente, estão em interfase, período entre as divisões. A célula abaixo encontra-se em metáfase, uma das fases da divisão celular. As estruturas amarelas são microtúbulos, evidenciados pela técnica de imunofluorescência (aumento $\approx 1.160\times$).



DR GOPAL MURTI/SCIENCE
PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

Componentes do núcleo celular

» Habilidades sugeridas

- Reconhecer o núcleo das células eucarióticas como o centro de controle das atividades celulares.
- Reconhecer e identificar, em esquemas e fotografias de células, o núcleo e suas partes: envoltório nuclear, cromatina e nucléolo.

» Conceitos principais

- núcleo celular
- carioteca
- cromatina
- nucléolo
- nucleoplasma

1 O núcleo celular

O **núcleo celular** é uma estrutura geralmente esférica ou ovoide, presente em todas as células eucarióticas; em seu interior estão os cromossomos, que contêm os genes. Durante a divisão da célula, o núcleo desaparece temporariamente, pois o envoltório nuclear fragmenta-se e os cromossomos espalham-se pelo citoplasma. Ao final da divisão celular, reorganizam-se dois núcleos, um em cada uma das células-filhas.

O pesquisador escocês Robert Brown (1773-1858) é considerado o descobridor do núcleo celular. Outros cientistas já haviam notado a existência dessa estrutura, mas ele foi o primeiro a reconhecê-la como componente fundamental das células. O termo “núcleo”, escolhido por Brown, vem do grego *nux*, que significa semente.

A maioria das células eucarióticas tem apenas um núcleo, mas há exceções: protozoários ciliados têm dois núcleos, um pequeno, chamado de micronúcleo, e outro grande, o macronúcleo; fibras musculares esqueléticas são multinucleadas, uma vez que se originam da fusão de grande número de células embrionárias denominadas mioblastos. Há ainda células que perdem o núcleo durante sua especialização e tornam-se anucleadas, como é o caso dos glóbulos vermelhos (hemácias) de nosso sangue. (Fig. 7.1)

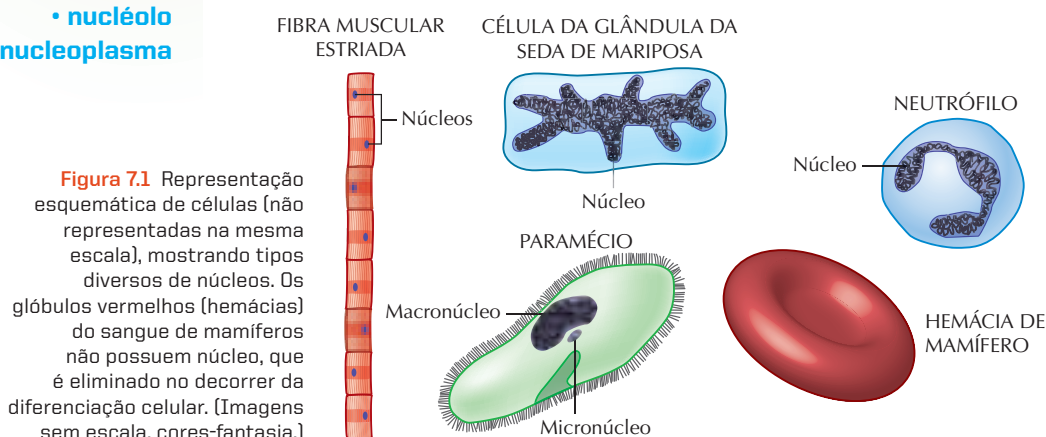


Figura 7.1 Representação esquemática de células (não representadas na mesma escala), mostrando tipos diversos de núcleos. Os glóbulos vermelhos (hemácias) do sangue de mamíferos não possuem núcleo, que é eliminado no decorrer da diferenciação celular. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)

O núcleo celular apresenta quatro componentes fundamentais: a) carioteca ou envelope nuclear; b) cromatina; c) nucléolo; d) nucleoplasma ou cariolineia. (Fig. 7.2)

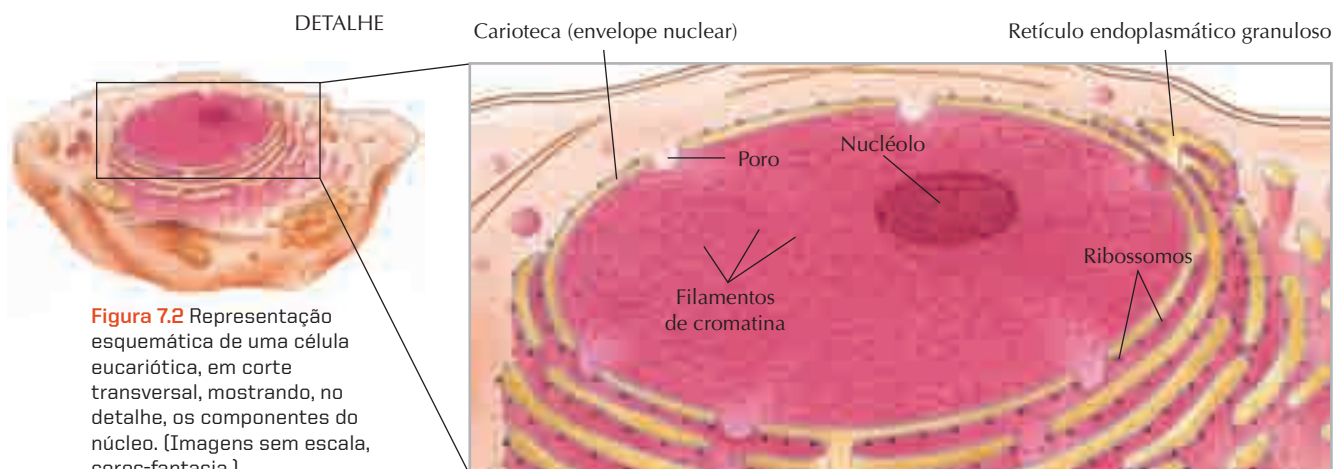


Figura 7.2 Representação esquemática de uma célula eucariótica, em corte transversal, mostrando, no detalhe, os componentes do núcleo. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)

Carioteca ou envelope nuclear

O núcleo é delimitado pela **carioteca**, também chamada de envelope nuclear ou de envoltório nuclear. O termo “membrana nuclear” deve ser evitado, uma vez que a carioteca é uma estrutura complexa, constituída por duas membranas lipoproteicas justapostas e forrada internamente por uma lâmina de filamentos proteicos. Em determinados pontos da carioteca, as duas membranas encontram-se fundidas formando poros, através dos quais ocorre troca de substâncias entre o núcleo e o citoplasma.

A membrana mais externa da carioteca comunica-se com as membranas do retículo endoplasmático e pode apresentar ribossomos aderidos à sua superfície em contato com o citosol. A membrana mais interna tem constituição química ligeiramente diferente da membrana externa.

A **lâmina nuclear** é uma rede de filamentos de proteína aderida internamente à carioteca. Ela dá suporte ao envelope nuclear, mantendo sua forma, e fornece pontos de ancoragem aos cromossomos, organizando-os no interior do núcleo.

A carioteca permite que o conteúdo nuclear seja quimicamente diferenciado do citosol, pois apenas pequenas moléculas apolares têm passagem livre por difusão através dela. Outros tipos de substância, como moléculas polares, proteínas, RNA etc., só podem entrar ou sair do núcleo passando pelos poros.

Organização do poro nuclear

Os **poros da carioteca** são mais que simples aberturas; em cada um deles há uma estrutura proteica, o complexo do poro, que funciona como válvula, abrindo-se para dar passagem a determinados materiais e fechando-se em seguida. O complexo do poro é formado por dezenas de tipos diferentes de proteína, que selecionam ativamente o que entra e o que sai do núcleo. (Fig. 7.3)

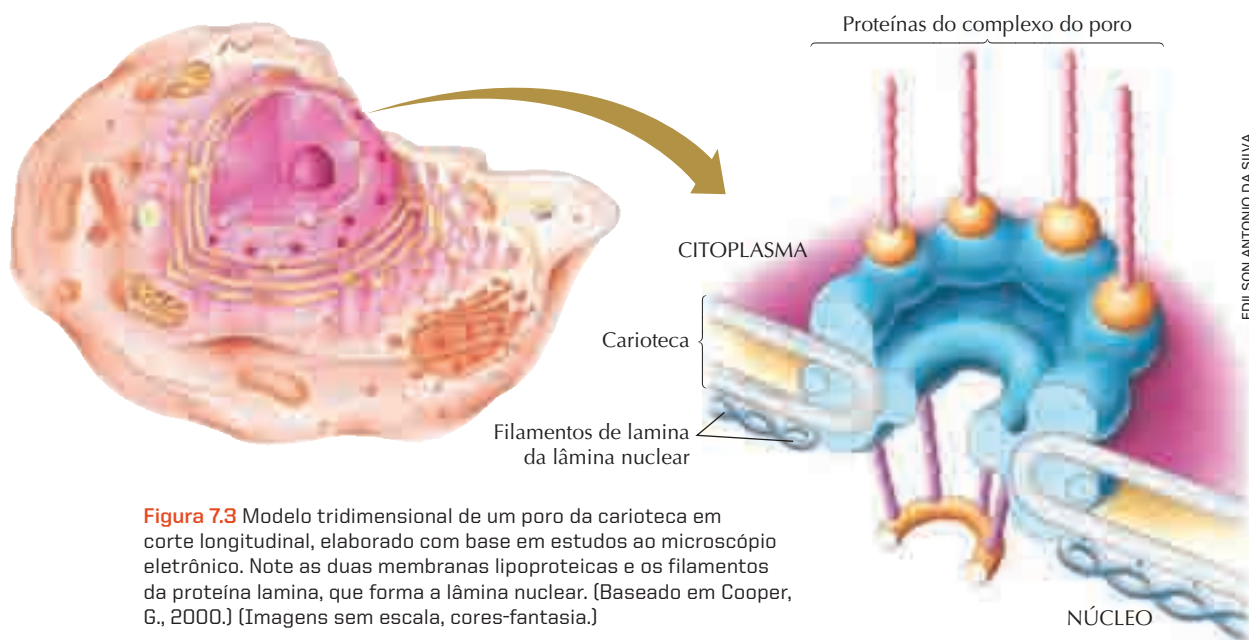


Figura 7.3 Modelo tridimensional de um poro da carioteca em corte longitudinal, elaborado com base em estudos ao microscópio eletrônico. Note as duas membranas lipoproteicas e os filamentos da proteína lamina, que forma a lâmina nuclear. (Baseado em Cooper, G., 2000.) (Imagens sem escala, cores-fantasia.)

Hoje sabemos que as proteínas que irão atuar no núcleo apresentam uma sequência de aminoácidos, denominada sinal de reconhecimento nuclear, que as identifica. Ao reconhecer esse sinal, o complexo do poro se abre e permite que a proteína entre no núcleo, onde ela atuará. Substâncias produzidas no núcleo e que devem atuar no citoplasma também apresentam sinais identificadores, que fazem o poro abrir para deixá-las sair.

Cromatina

O termo **cromatina** (do grego *chromatos*, cor) começou a ser utilizado em meados do século XIX para indicar um material corável que preenchia a maior parte do núcleo celular. Os citologistas descobriram que o núcleo corava-se intensamente quando a célula fixada era tratada com determinados corantes, destacando-se do citoplasma. Eles notaram, também, que certas partes da cromatina coravam-se mais intensamente que outras e passaram a denominá-las **heterocromatina** (do grego *heteros*, diferente); o restante da cromatina foi chamado de **eucromatina** (do grego *eu*, verdadeiro).

Hoje o termo cromatina é usado para indicar o conjunto de cromossomos presente no núcleo celular. A heterocromatina (cromatina condensada) corresponde às regiões dos cromossomos que se mantêm permanentemente condensadas, mesmo quando a célula não está se dividindo, e seu DNA é metabolicamente inerte. Os genes ativos da célula localizam-se na eucromatina, ou cromatina frouxa.

4 Nucléolos e nucleoplasma

Nucléolos são massas densas, em geral uma ou duas, presentes no núcleo celular. Eles são constituídos principalmente por um tipo especial de RNA que compõe os ribossomos, o RNA ribossômico. Os genes responsáveis pela produção desse RNA estão contidos em uma região especial de um ou mais cromossomos, denominada região organizadora do nucléolo.

Moléculas de RNA ribossômico são produzidas continuamente pelas regiões organizadoras do nucléolo e acumulam-se ao seu redor originando os nucléolos. Nelas, as moléculas de RNA ribossômico associam-se a proteínas específicas para constituir os ribossomos. À medida que amadurecem, as subunidades ribossômicas saem do núcleo através dos poros da carioteca e vão atuar no citoplasma. Portanto, o nucléolo é um aglomerado dinâmico de partículas ribossômicas em formação. (Fig. 7.4)

Nucleoplasma, ou cariolinfa, é a solução aquosa que envolve a cromatina e os nucléolos. Nela estão presentes diversos tipos de íons, moléculas de ATP, nucleotídeos e diversos tipos de enzimas.

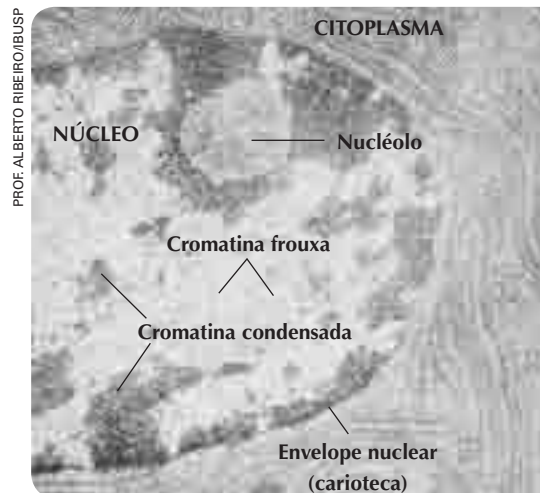


Figura 7.4 Micrografia de um corte de célula animal ao microscópio eletrônico de transmissão, mostrando os principais constituintes do núcleo (aumento $\approx 11.000\times$).

Seção 7.2

Habilidades sugeridas

- Reconhecer a cromatina como o conjunto de cromossomos do núcleo e compreender os níveis de organização cromossômica.
- Reconhecer, em esquemas e fotografias, o centrômero e as cromátides-irmãs de um cromossomo.
- Reconhecer o cromossomo como a sede dos genes.

Conceitos principais

- cromossomo
- cromátides-irmãs
- centrômero
- gene
- genoma
- autossomo
- cromossomo sexual
- cromossomos homólogos
- célula diploide ($2n$)
- célula haploide (n)

Cromossomos da célula eucariótica

1 Cromossomos

Os **cromossomos** das células eucarióticas são longos fios constituídos por uma molécula de DNA associada a diversas proteínas, em um arranjo altamente complexo, como veremos mais adiante. Durante o período em que a célula não está se dividindo, os filamentos cromossômicos encontram-se emaranhados no interior do núcleo, constituindo a cromatina. Quando a célula entra em processo de divisão, cada filamento cromossômico enrola-se sobre si mesmo, assumindo o aspecto de um bastão curto e relativamente grosso.

O número de cromossomos no núcleo celular varia de uma espécie para outra. Na espécie humana, por exemplo, com exceção dos gametas, todas as células têm 46 cromossomos no núcleo. As células do chimpanzé possuem 48 cromossomos e as da mosca *Drosophila melanogaster*, apenas 8.

2 Arquitetura do cromossomo eucariótico

Apesar de variar em número e em tamanho nas diversas espécies eucarióticas, os cromossomos têm sempre a mesma estrutura básica: uma longa molécula de DNA (dupla hélice) que, a espaços regulares, dá duas voltas sobre um minúsculo grão constituído por oito moléculas de proteínas chamadas histonas. Os grãos de histona com DNA enrolado constituem unidades estruturais denominadas **nucleossomos**, que se repetem ao longo do cromossomo.

Devido à associação de nucleossomos vizinhos, o fio cromossômico enrola-se como uma mola helicoidal altamente compacta. O cordão resultante, com cerca de 30 nm de espessura, é denominado fibra cromossômica, ou solenoide. Ao longo de seu comprimento, a fibra cromossômica apresenta regiões especiais que se associam a determinadas proteínas cuja função é dar sustentação “esquelética” ao cromossomo. A fibra cromossômica, associada a esse esqueleto proteico, tem cerca de 300 nm de espessura e constitui o cromonema. (Fig. 7.5)

Quando a célula está se dividindo para originar duas células-filhas, o cromossomo enrola-se sobre si mesmo e fica em um estado altamente condensado, com cerca de 700 nm de espessura.

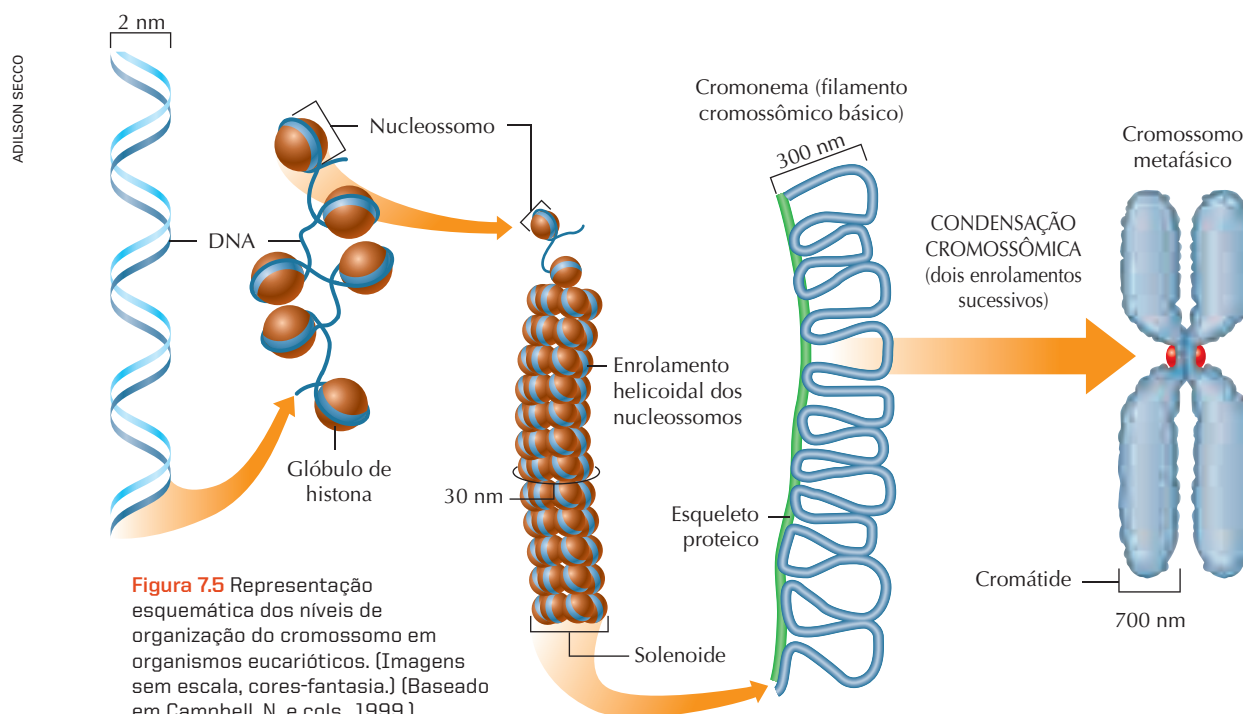


Figura 7.5 Representação esquemática dos níveis de organização do cromossomo em organismos eucarióticos. (Imagens sem escala, cores-fantasia.) (Baseado em Campbell, N. e cols., 1999.)

3 Características gerais dos cromossomos

A organização dos cromossomos de uma célula eucariótica varia no decorrer do **ciclo celular**, denominação que os biólogos utilizam para designar o período de vida de uma célula. Esse ciclo costuma ser dividido em duas etapas: **interfase**, período em que a célula não está se dividindo, e **divisão celular**, período em que a célula está em processo de reprodução para originar duas células-filhas. O aspecto dos cromossomos nessas duas etapas do ciclo celular é bem diferente, como veremos a seguir.

Cromátides-irmãs

Durante a interfase, a célula prepara-se para a futura divisão e um dos principais eventos dessa preparação é a duplicação dos cromossomos. Cada cromossomo produz um outro idêntico e os dois permanecem aderidos entre si por meio de proteínas especiais chamadas de coesinas. As cópias unidas de um cromossomo duplicado são denominadas **cromátides-irmãs** e elas permanecem unidas até uma fase específica da divisão celular (anáfase), quando as coesinas se desagregam, permitindo sua separação.

O início da divisão celular é marcado pela condensação dos cromossomos duplicados. Cada cromátide condensa-se independentemente da irmã, apesar de continuarem unidas pelas coesinas. Com a condensação, os cromossomos encurtam e vão se tornando mais grossos, até assumir o aspecto de bastões duplos, uma vez que são compostos de duas cromátides. (Fig. 7.6A)

Centrômero e classificação dos cromossomos

Todo cromossomo apresenta uma região especial, o **centrômero**, em geral localizada em um estrangulamento do cromossomo condensado. É por essa região que os cromossomos duplicados prendem-se aos microtúbulos do fuso, os quais irão separar as cromátides durante as divisões celulares.

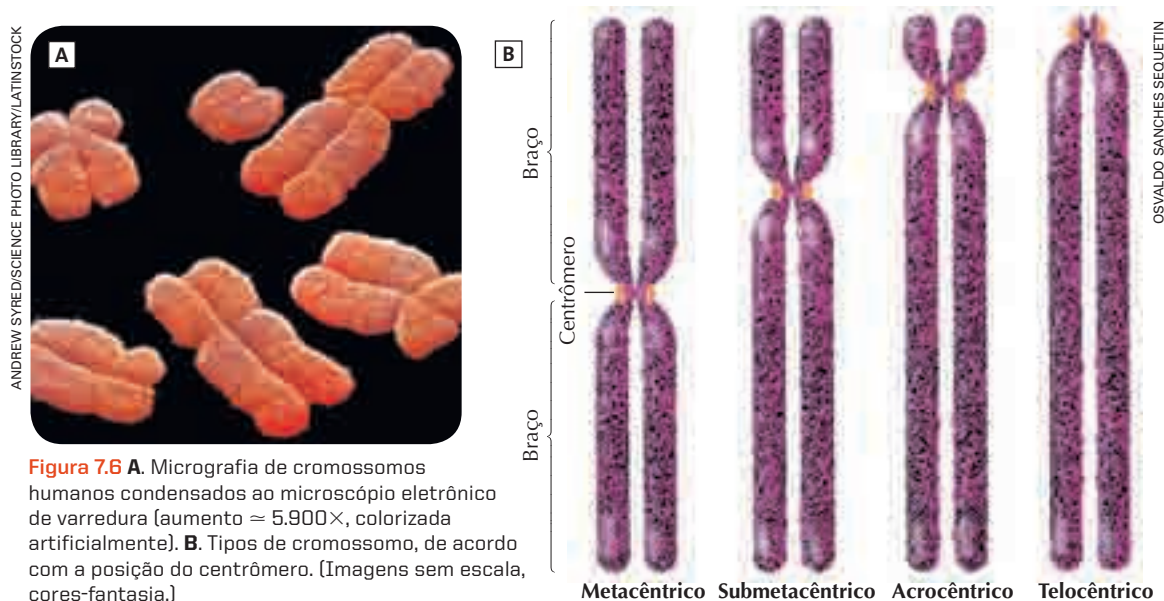


Figura 7.6 **A.** Micrografia de cromossomos humanos condensados ao microscópio eletrônico de varredura (aumento $\approx 5.900\times$, colorizada artificialmente). **B.** Tipos de cromossomo, de acordo com a posição do centrômero. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)

Telômeros

As extremidades de um cromossomo possuem organização especial e são denominadas **telômeros**. Para sintetizar as extremidades da molécula de DNA que constitui o telômero é necessária uma enzima especial, a telomerase. Na ausência dessa enzima, a célula não consegue produzir as extremidades de seus cromossomos e os telômeros de suas células-filhas serão um pouco menores. As células embrionárias produzem telomerase normalmente, mas células diferenciadas deixam de fazê-lo. Por isso, diversas células de nosso corpo, ao se reproduzirem, geram células-filhas que herdam cromossomos com telômeros mais curtos.

A perda de pedaços das pontas dos cromossomos geralmente não acarreta problema à célula, pois os segmentos de DNA que constituem os telômeros não possuem genes. Entretanto, se as células continuam a se reproduzir após terem perdido o telômero, vias bioquímicas específicas são ativadas e a célula entra em apoptose, uma morte celular programada. Apenas as células que darão origem aos gametas (células germinativas) continuam a produzir a telomerase por toda a vida.

4 Cromossomos e genes

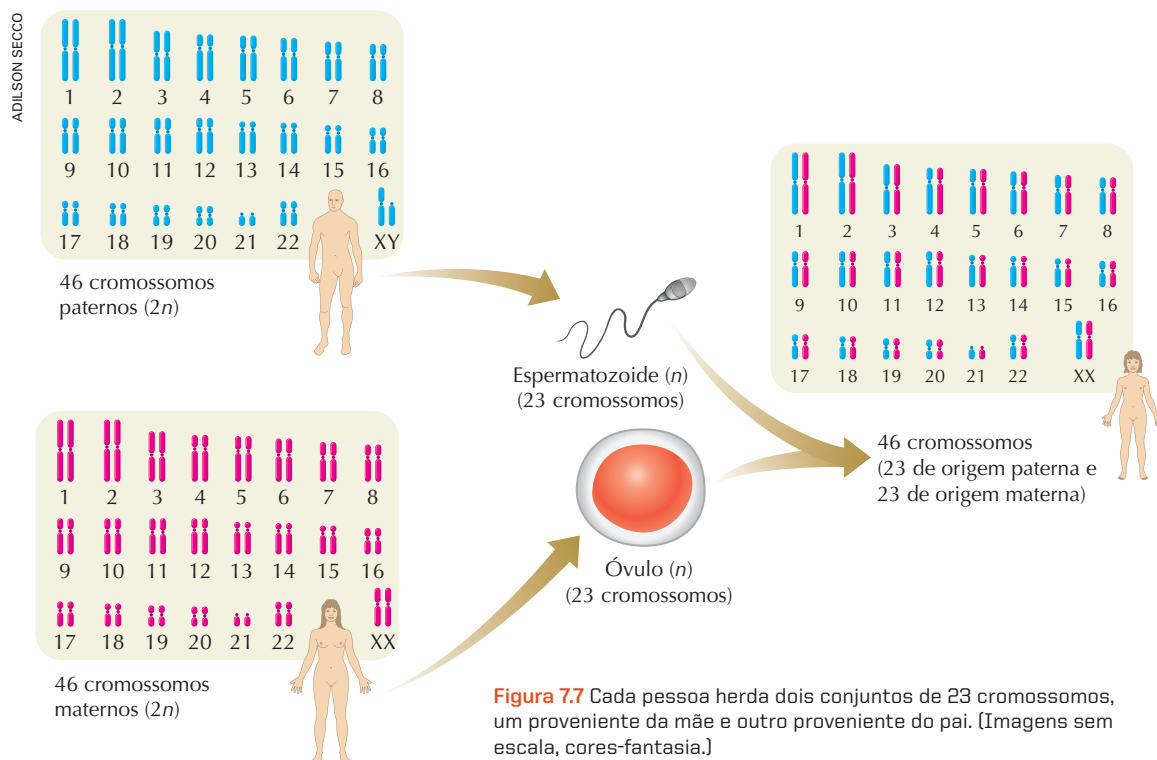
A molécula de DNA de um cromossomo é comparável a uma fita magnética em que estão gravadas as informações para a produção de proteínas. Cada trecho de DNA que contém a informação para uma proteína constitui um **gene**. Essa é uma definição simples de gene, mas o conceito de gene tem se tornado cada vez mais complexo à medida que as pesquisas genéticas avançam.

O conjunto de moléculas de DNA de uma espécie, que contém todos os seus genes, e também as sequências de bases nitrogenadas que não possuem informação codificada, constitui o **genoma**. Na espécie humana, são encontrados 24 tipos diferentes de moléculas de DNA que formam os 24 tipos de cromossomos humanos; 22 desses tipos de cromossomos são denominados autossomos e identificados por números de 1 a 22; os outros dois tipos, chamados de cromossomos sexuais, são identificados pelas letras X e Y. **Autossomos** são os tipos de cromossomos presentes igualmente em células de ambos os sexos. **Cromossomos sexuais**, ou heterocromossomos, são os que variam entre os sexos e diferenciam células masculinas e femininas.

Cada célula do corpo de uma pessoa, com exceção dos gametas, possui 46 cromossomos. Os homens têm 22 pares de autossomos, um cromossomo X e um cromossomo Y. As mulheres têm 22 pares de autossomos e dois cromossomos X. Os óvulos humanos têm 23 cromossomos, sendo 22 autossomos (um de cada tipo) e um cromossomo X. Os espermatozoides humanos também têm 23 cromossomos, sendo 22 autossomos e um cromossomo sexual, que pode ser tanto o cromossomo X quanto o cromossomo Y. Assim, metade dos espermatozoides produzidos por um homem possui um cromossomo X e a outra metade possui um cromossomo Y.

Quando um espermatozoide se funde ao óvulo na fecundação, os dois conjuntos de cromossomos reúnem-se na primeira célula do novo ser, o **zigoto**. Na espécie humana, o zigoto contém 23 cromossomos recebidos da mãe e 23 recebidos do pai. A determinação do sexo ocorre no momento da fecundação; no caso de o espermatozoide fecundante ter um cromossomo X, o zigoto originará uma pessoa do sexo feminino; se o espermatozoide tiver um cromossomo Y, a pessoa será do sexo masculino. Pouco antes de se dividir, o zigoto duplica todos os seus cromossomos e, na divisão celular, cada célula-filha receberá réplicas exatas dos 46 cromossomos recebidos dos genitores.

Os dois representantes de cada tipo de cromossomo de uma célula originada do zigoto, um herdado do pai e outro da mãe, são chamados de **cromossomos homólogos** (do grego *homoiós*, igual, semelhante). (Fig. 7.7)



Células diploides e células haploides

Células que apresentam pares de cromossomos homólogos, como a primeira célula de nosso corpo e todas as demais, que dela descendem, são chamadas de **células diploides** (do grego *diplos*, duplo, dois) e representadas pela sigla **2n**. Por outro lado, células que apresentam apenas um lote de cromossomos, tais como óvulos e espermatozoides, são chamadas de **células haploides** (do grego *haplos*, simples) e representadas pela sigla **n**.

Os cromossomos de um par de homólogos são praticamente indistinguíveis: eles têm mesmo tamanho, mesma forma e possuem genes equivalentes, localizados nas mesmas posições relativas no filamento cromossômico. Por exemplo, se em determinado local de um cromossomo houver um gene com a instrução para produzir determinada proteína, em seu homólogo, no local correspondente, haverá um gene com uma instrução idêntica ou muito semelhante.

Habilidades sugeridas

► Conhecer o número normal de cromossomos da espécie humana (46) e compreender o significado das fórmulas cromossômicas da mulher – 46, XX – e do homem – 46, XY.

► Reconhecer a importância dos estudos cromossômicos para diagnosticar e prevenir síndromes cromossômicas, relacionando a ciência à melhora das condições de vida da humanidade.

Conceitos principais

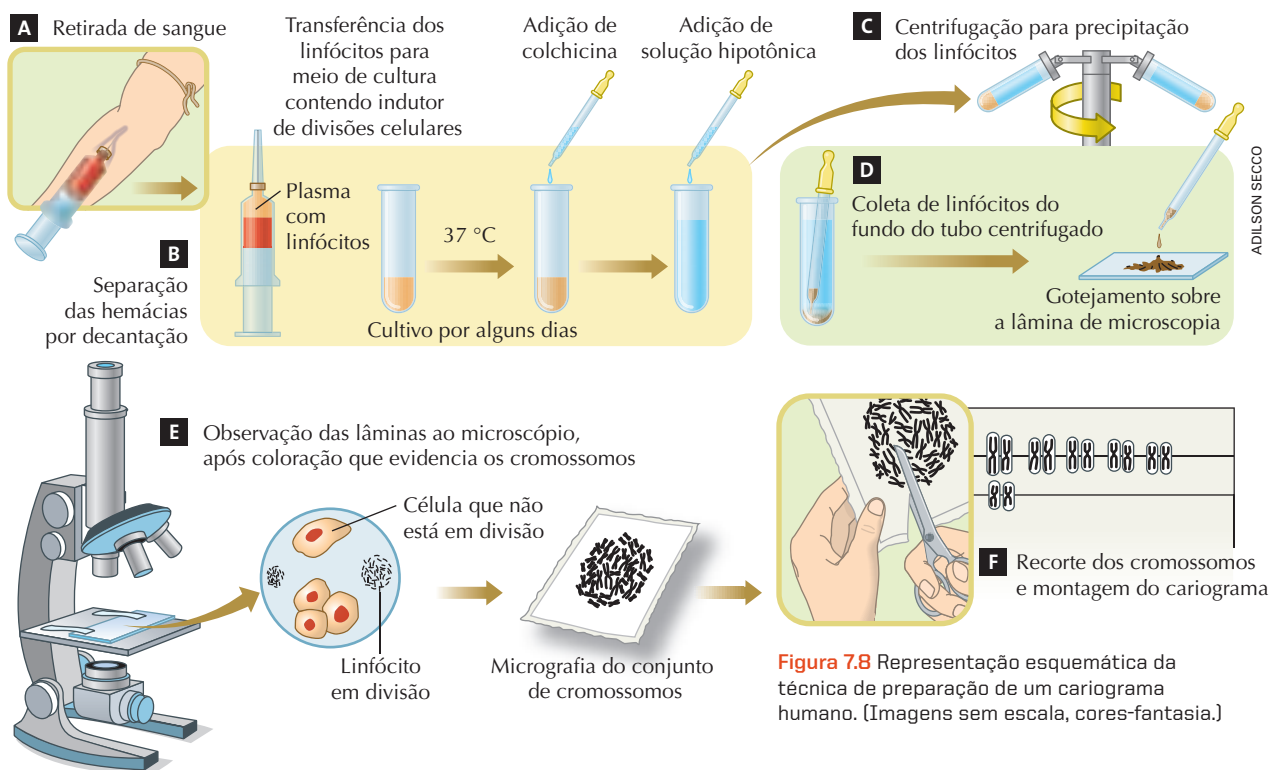
- aconselhamento genético
- kariograma
- kariótipo
- síndrome de Down
- síndrome de Turner
- síndrome de Klinefelter

1 Citogenética humana

A **Citogenética Humana**, ramo da Biologia que estuda os cromossomos humanos, é uma especialidade relativamente nova. Para se ter ideia, apenas em 1956 ficou definitivamente demonstrado que tanto homens quanto mulheres têm 46 cromossomos em cada uma das células. Atualmente os cientistas têm condições de identificar pessoas com problemas cromossômicos e prever o risco de seus filhos virem a ser afetados por certas doenças hereditárias. Esses procedimentos fazem parte de um ramo da Genética denominado **aconselhamento genético**.

A técnica mais empregada para o estudo dos cromossomos humanos baseia-se no cultivo, em tubo de ensaio, de um tipo de glóbulo branco do sangue, o linfócito. Retira-se um pouco de sangue da pessoa e separa-se a fração que contém os glóbulos brancos, a qual é colocada em um frasco com solução nutritiva para células. Acrescenta-se a esse frasco uma substância chamada fitoemaglutinina, que induz os linfócitos a se dividirem. Depois de alguns dias, adiciona-se ao frasco uma substância chamada colchicina, que bloqueia a divisão celular exatamente no estágio em que os cromossomos estão mais condensados, o que facilita observá-los. Algumas horas depois da adição de colchicina, acrescenta-se uma solução hipotônica, que faz as células incharem. Quando se deixam cair gotas dessa solução sobre lâminas de vidro para microscopia, as células inchadas arrebentam e liberam os cromossomos, que aderem à lâmina e podem ser corados e examinados ao microscópio óptico.

O pesquisador escolhe um conjunto completo de cromossomos e fotografa-o. Os cromossomos são recortados da foto e organizados por ordem decrescente de tamanho e de acordo com a posição dos centrômeros. Essa montagem é chamada **kariograma**. (Fig. 7.8)



O conjunto de cromossomos de uma célula constitui seu **cariótipo** (do grego *karyon*, núcleo). Na espécie humana, por exemplo, os cariótipos de homens e de mulheres são iguais quanto a 22 pares de autossomos, mas diferem quanto ao par de cromossomos sexuais. Nas mulheres, esse par é composto de dois cromossomos morfologicamente idênticos, os cromossomos X. Nos homens, o par de cromossomos sexuais é composto de um cromossomo X e de um cromossomo Y. Uma forma de escrever os cariótipos normais de homem e de mulher é:

Cariótipo da mulher: 22AA + XX (ou 46, XX)

Cariótipo do homem: 22AA + XY (ou 46, XY)

Alguns cromossomos humanos são facilmente identificados pelo tamanho e pela forma; outros são muito parecidos, sendo praticamente indistinguíveis quanto à morfologia. No entanto, quando se submetem preparações citológicas de cromossomos a certos tratamentos especiais, surgem faixas transversais típicas para cada um dos pares de cromossomos. Assim, em uma preparação citológica submetida a esses tratamentos, pode-se identificar, pelas faixas, cada um dos 23 pares cromossômicos do cariótipo humano. (Fig. 7.9)

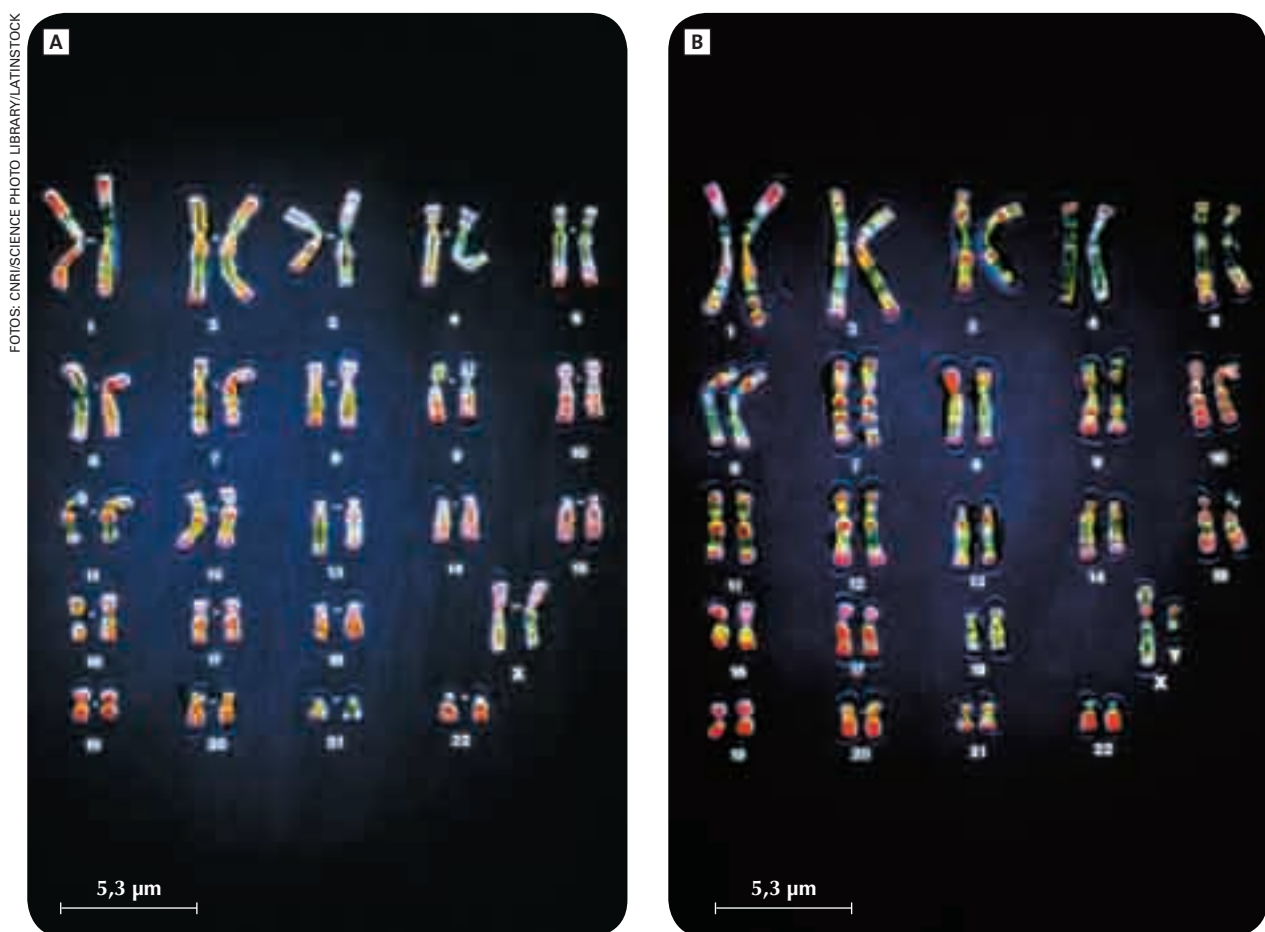


Figura 7.9 Cariogramas obtidos a partir de micrografias de cariótipos humanos normais ao microscópio óptico (colorizadas artificialmente). **A.** Cariograma feminino. **B.** Cariograma masculino. As faixas transversais, típicas de cada cromossomo, são obtidas com um tratamento químico especial. O padrão de faixas ajuda a identificar os tipos cromossômicos, permitindo encontrar seu homólogo para a montagem do cariograma.

1 Em várias espécies, inclusive na nossa, podem nascer indivíduos com alterações cromossômicas em relação ao cariótipo normal. Geralmente as alterações cromossômicas causam grandes transtornos ao funcionamento celular, levando a doenças graves ou mesmo à morte.

2 Certas alterações afetam a estrutura de um ou mais cromossomos, sendo, por isso, chamadas de **alterações estruturais**; por exemplo, um cromossomo pode perder um pedaço, o que é chamado deleção; cromossomos não homólogos podem trocar pedaços, o que é chamado translocação. Outras alterações, decorrentes de erros no processo de divisão celular, afetam o número de cromossomos da célula, daí serem chamadas **alterações numéricas**.

Síndrome de Down

3 Uma das alterações cromossômicas numéricas bem estudadas na espécie humana é a **trisomia do cromossomo 21**, assim chamada porque as células da pessoa afetada têm três exemplares do cromossomo designado pelo número 21, em vez de possuírem apenas um par deles, como seria normal. Pessoas com essa alteração cromossômica podem apresentar uma série de características típicas – atraso no desenvolvimento mental, hipotonia (fraqueza) muscular, baixa estatura, anomalia cardíaca, olhos com fendas palpebrais oblíquas, o que lhes confere um aspecto amendoado (daí o termo mongolismo), prega única nas palmas das mãos etc.; essas características clínicas compõem a **síndrome de Down** (ou mongolismo). (Fig. 7.10)

4 Os avanços na compreensão da síndrome de Down têm possibilitado que seus portadores sejam cada vez mais incluídos e mais bem acolhidos na sociedade. Para isso, é fundamental que os pais de crianças com síndrome de Down procurem ajuda especializada tão logo o problema seja diagnosticado; sabe-se que a estimulação física e mental precoce melhora o desenvolvimento neuromuscular e a capacidade de comunicação de crianças Down.

Síndrome de Turner e síndrome de Klinefelter

5 Outros exemplos de alteração no número de cromossomos na espécie humana são a síndrome de Turner e a síndrome de Klinefelter.

6 A pessoa afetada pela **síndrome de Turner** tem apenas um cromossomo sexual (monossomia), o cromossomo X, e é do sexo feminino. As principais características dessa síndrome são baixa estatura, problemas no desenvolvimento dos órgãos genitais, infertilidade e, em alguns casos, atraso mental leve e desenvolvimento de pregas de pele nos lados do pescoço (pescoço alado). (Fig. 7.11)

CORTESIA DA PROFA. ANGELA MORGANTE/IBUSP

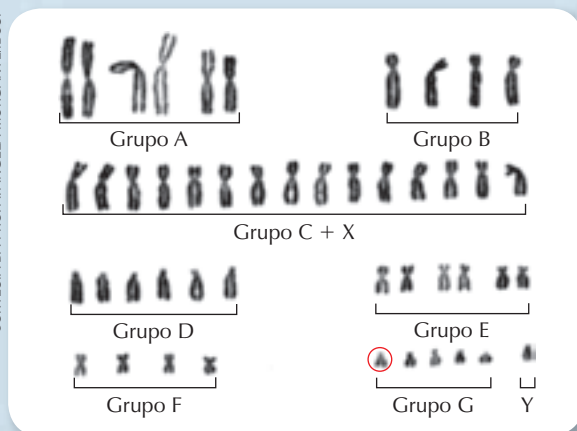


Figura 7.10 Cariograma de pessoa do sexo masculino com síndrome de Down. O cromossomo 21 extranumerário está destacado pelo círculo vermelho.

CORTESIA DA PROFA. ANGELA MORGANTE/IBUSP

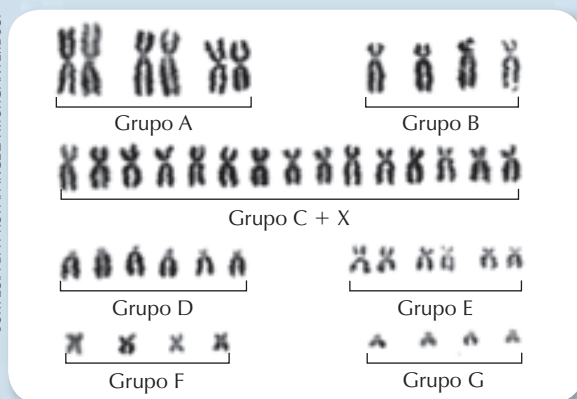
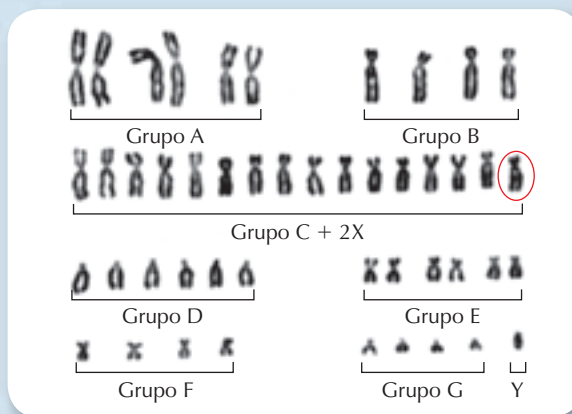


Figura 7.11 Cariograma de pessoa com síndrome de Turner, que é sempre do sexo feminino.

- 7 A pessoa afetada pela **síndrome de Klinefelter** tem três cromossomos sexuais, sendo dois X e um Y, e é do sexo masculino. As principais características dessa síndrome são problemas no desenvolvimento dos órgãos genitais, geralmente acompanhados de infertilidade e retardo mental leve. (Fig. 7.12)

Figura 7.12 Cariograma de pessoa com síndrome de Klinefelter, que é sempre do sexo masculino. No círculo vermelho, o cromossomo X extranumerário.



CORTESIA DA PROFA. ANGELA MORGANTE/IBUSP

GUIA DE LEITURA

1. Leia apenas o título do quadro. Há alguns anos, ele poderia ter sido: “Aberrações cromossômicas”. Isso porque, no jargão da Genética, alterações do cariótipo são denominadas aberrações. Entretanto, dada à conotação depreciativa do termo, não convém utilizá-lo para se referir à espécie humana, como alertou um colega que havia sido professor de um aluno com síndrome de Down no Ensino Médio. Escreva um comentário a respeito desse assunto.
2. Leia agora o primeiro e o segundo parágrafos do quadro. Certifique-se de ter compreendido a distinção entre alterações cromossômicas estruturais e numéricas.
3. Leia o terceiro parágrafo, referente à síndrome de Down, e responda: o que caracteriza cromossomicamente a síndrome? Observe a Fig.7.10 e localize o cromossomo 21 extranumerário. Informe-se, no parágrafo, sobre as principais características físicas apresentadas pelos portadores da síndrome de Down.
4. Leia o quarto parágrafo do quadro, que aborda um importante aspecto de cidadania: a inclusão social de pessoas portadoras de características especiais, como as que estamos estudando. Você já teve algum contato com pessoas com síndrome de Down? Informe-se e escreva um texto opinativo sobre o assunto.
5. Nos parágrafos, 5, 6 e 7 são apresentadas duas outras síndromes cromossômicas humanas: a síndrome de Turner e a síndrome de Klinefelter. O que caracteriza cromossomicamente cada uma dessas síndromes? Observe as figuras correspondentes e localize os cromossomos em questão. Informe-se, nos parágrafos 6 e 7, sobre as principais características físicas apresentadas pelos portadores das síndromes de Turner e Klinefelter, respectivamente.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES

Escreva as respostas no caderno

QUESTÕES PARA PENSAR E DISCUTIR

Questões objetivas

1. No intercâmbio de substâncias entre o núcleo e o citoplasma estão diretamente implicados os
 - a) cromossomos.
 - b) nucléolos.
 - c) poros da carioteca.
 - d) ribossomos.
2. Se uma célula perdesse a capacidade de produzir o nucléolo, qual das seguintes atividades celulares seria diretamente prejudicada?

- a) Produção de ATP.
- b) Síntese de lipídios.
- c) Síntese de proteínas.
- d) Digestão intracelular.

Considere as alternativas a seguir para responder às questões de 3 a 6.

- a) Célula haploide.
 - b) Célula diploide.
 - c) Célula anucleada.
 - d) Célula procariótica.
3. Que tipo de célula é um óvulo?
 4. Que tipo de célula é um espermatozoide?

5. Que tipo de célula é um zigoto?
6. Um citologista estudou o cariótipo de uma célula, verificando a presença de pares de cromossomos homólogos. Trata-se de que tipo de célula?
7. Células diploides caracterizam-se por possuir
 - a) centrômeros.
 - b) cromátides-irmãs.
 - c) cromatina.
 - d) cromossomos homólogos.
8. O cariótipo humano normal apresenta
 - a) 23 pares de autossomos e 1 par de cromossomos sexuais.
 - b) 22 pares de autossomos e 1 par de cromossomos sexuais.
 - c) 45 pares de autossomos e 1 par de cromossomos sexuais.
 - d) 44 pares de autossomos e 2 pares de cromossomos sexuais.

Considere as alternativas a seguir para responder às questões de 9 a 12.

 - a) Mulher normal.
 - b) Homem normal.
 - c) Portador de síndrome de Down.
 - d) Portador de síndrome de Klinefelter.
 - e) Portador de síndrome de Turner.

9. Como será a pessoa originada pela fecundação de um óvulo com 22 autossomos e 1 cromossomo X por um espermatozoide com 22 autossomos e 1 cromossomo X?
10. Como será a pessoa originada pela fecundação de um óvulo com 22 autossomos e 1 cromossomo X por um espermatozoide com 22 autossomos e 1 cromossomo Y?
11. Como será a pessoa originada na fecundação de um óvulo normal por um espermatozoide com 22 autossomos e sem nenhum cromossomo sexual?
12. Como será uma pessoa originada na fecundação de um óvulo portador de 22 autossomos e um par de cromossomos X por um espermatozoide portador do cromossomo Y?

▼ Questões discursivas

13. Conte ou justifique a seguinte afirmação: “Células procarióticas não têm núcleo. As hemácias humanas não têm núcleo, portanto elas são células procarióticas”.
14. Hoje é possível retirar células de um feto em desenvolvimento no útero da mãe e determinar seu cariótipo. Que informações importantes a análise desse cariótipo pode fornecer?



▼ Questões objetivas

1. (Unir-RO) Qual das seguintes estruturas celulares é responsável pela formação dos ribossomos?

- a) Retículo endoplasmático.
- b) Complexo de Golgi.
- c) Centríolo.
- d) Nucléolo.
- e) Lisossomo.

2. (Uepa) Embora atualmente em alguns aspectos a síndrome de Down seja mais conhecida, e a pessoa afetada tenha melhores chances de vida e de desenvolvimento, uma das maiores barreiras para a inclusão social desses indivíduos continua sendo o preconceito. No entanto, embora o perfil da pessoa com síndrome de Down fuja dos padrões estabelecidos pela cultura atual — que valoriza, sobretudo, os padrões estéticos e a produtividade —, cada vez mais a sociedade está se conscientizando de como é importante valorizar a diversidade humana e de como é fundamental oferecer oportunidades para que pessoas com deficiências exerçam seu direito de cidadania.

Adaptado de <<http://www.entreamigos.com.br>>
Acessado em 29 set. 2007.

Com relação à síndrome genética referida no texto e seus portadores, afirma-se que:

- I. É uma trissomia autossômica.
- II. Mulheres afetadas apresentam cariótipo 45A + XX.
- III. Homens afetados apresentam cariótipo 44A + XXY.
- IV. Indivíduos afetados possuem um cromossomo X extra.

De acordo com as afirmativas acima, a alternativa correta é

- a) I.
- b) I e II.
- c) II e III.
- d) II e IV.
- e) III e IV.

3. (FCC-BA) Nas células em interfase, o material genético aparece na forma de

- a) carioteca.
- b) fuso acromático.
- c) nucléolo.
- d) cromatina.
- e) cariolinfa.

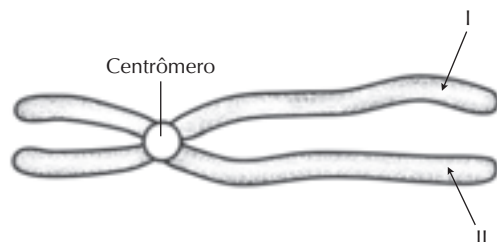
4. (UEMS) Células que em alguma fase do seu desenvolvimento contêm um núcleo, sendo este circundado por uma membrana dupla, denominada envoltório nuclear ou carioteca. O texto refere-se às células

- a) animais exclusivamente.
- b) bacterianas.
- c) procariontes.
- d) eucariontes.
- e) vegetais exclusivamente.



5. (UEMS) Na espécie humana, as alterações numéricas que envolvem acréscimo ou diminuição de um ou poucos cromossomos são chamadas aneuploidias. Essas alterações podem comprometer a saúde ou mesmo inviabilizar a vida do portador. Uma dessas alterações é conhecida como síndrome de Down, que se caracteriza pela seguinte fórmula cromossômica:
 - a) 47, XXY — $2n + 1$
 - b) 45, X — $2n - 1$
 - c) 47, + 18 — $2n + 1$
 - d) 47, + 13 — $2n + 1$
 - e) 47, + 21 — $2n + 1$
6. (Gesgranrio-RJ) Dos constituintes celulares a seguir relacionados, qual está presente somente nos eucariontes e representa um dos critérios utilizados para distingui-los dos procariontes?
 - a) DNA.
 - b) Membrana celular.
 - c) Ribossomo.
 - d) Envoltório nuclear.
 - e) RNA.
7. (Ufla-MG) Qual das seguintes alternativas é correta em relação ao nucléolo?
 - a) É uma estrutura intranuclear envolvida por membrana.
 - b) Não é visível no núcleo interfásico.
 - c) É o local de síntese do RNA ribossômico e das subunidades ribossômicas.
 - d) É o local de síntese das proteínas ribossômicas.
8. (FCC-SP) Observe o esquema abaixo.

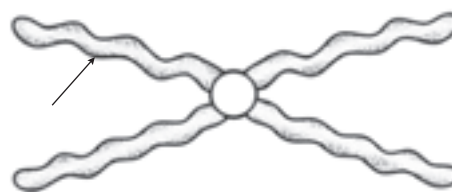
OSVALDO SANCHES SEQUETIN



- I e II indicam
- a) cromátides-irmãs.
 - b) cromátides homólogas.
 - c) cromossomos homólogos.
 - d) cromossomos não homólogos.
 - e) cromossomos-filhos.
9. (Fuvest-SP) Em determinada espécie animal, o número diploide de cromossomos é 22. Nos espermatozoides, nos óvulos e nas células epidérmicas dessa espécie serão encontrados, respectivamente:
 - a) 22, 22 e 44 cromossomos.
 - b) 22, 22 e 22 cromossomos.
 - c) 11, 11 e 22 cromossomos.
 - d) 44, 44 e 22 cromossomos.
 - e) 11, 22 e 22 cromossomos.
 10. (PUC-SP) A constituição genética do indivíduo com síndrome de Klinefelter é

- a) 44 A XY.
- b) 44 A XXY.
- c) 44 A XO.
- d) 44 A XXX.
- e) 45 A XX.

11. (UFMG) A identificação do fator que origina indivíduos com síndrome de Down tornou-se possível pela utilização da técnica de
 - a) contagem e identificação dos cromossomos.
 - b) cultura de células e tecidos.
 - c) mapeamento do genoma humano.
 - d) produção de DNA recombinante.
12. (UFRGS-RS) O desenho abaixo representa um cromossomo da espécie humana.



OSVALDO SANCHES SEQUETIN

Como se chama a região indicada pela seta? De que substância ela é formada?

- a) cromátide — DNA
 - b) centrômero — RNA
 - c) cromátide — RNA
 - d) cromossomos — RNA
 - e) centrômero — DNA
13. (Enem-MEC) Define-se genoma como o conjunto de todo o material genético de uma espécie, que, na maioria dos casos, são as moléculas de DNA. Durante muito tempo, especulou-se sobre a possível relação entre o tamanho do genoma — medido pelo número de pares de bases (pb) —, o número de proteínas produzidas e a complexidade do organismo. As primeiras respostas começam a aparecer e já deixam claro que essa relação não existe, como mostra a tabela abaixo.

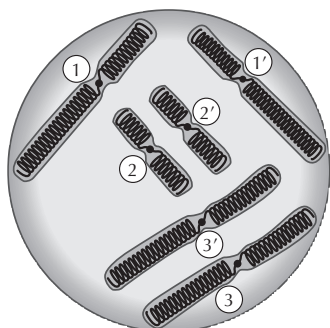
Espécie	Nome comum	Tamanho estimado do genoma (pb)	Número de proteínas descritas
<i>Oryza sativa</i>	arroz	5.000.000.000	224.181
<i>Mus musculus</i>	camundongo	3.454.200.000	249.081
<i>Homo sapiens</i>	homem	3.400.000.000	459.114
<i>Rattus norvegicus</i>	rato	2.900.000.000	109.077
<i>Drosophila melanogaster</i>	mosca-da-fruta	180.000.000	86.255

Disponível em: <www.cbs.dtu.dk>
e <www.ncbi.nlm.nih.gov>

De acordo com as informações acima,

- o conjunto de genes de um organismo define o seu DNA.
- a produção de proteínas não está vinculada à molécula de DNA.
- o tamanho do genoma não é diretamente proporcional ao número de proteínas produzidas pelo organismo.
- quanto mais complexo o organismo, maior o tamanho de seu genoma.
- genomas com mais de um bilhão de pares de bases são encontrados apenas nos seres vertebrados.

14. (Cesmac/Fejal-AL) Na figura abaixo, está ilustrado o núcleo de uma determinada célula.

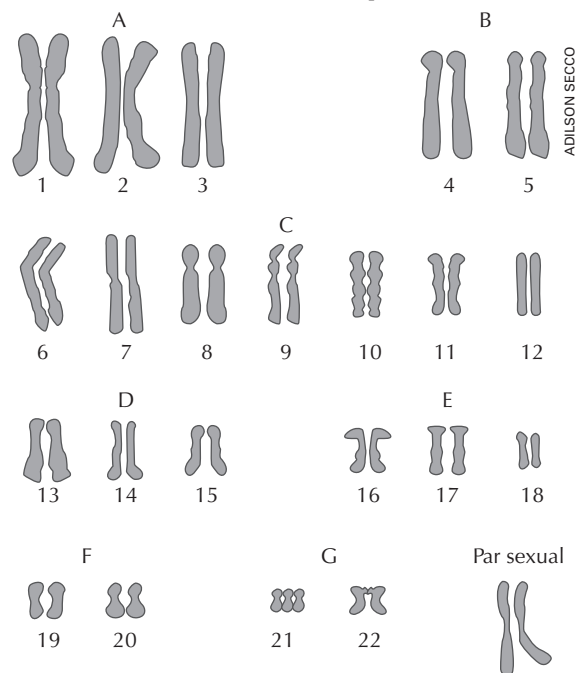


ADILSON SECCO

Com relação a esse núcleo, é correto afirmar que

- trata-se de uma célula procariótica.
 - 1 e 1', 2 e 2' e 3 e 3' são cromossomos homólogos.
 - a célula exemplificada é haploide.
 - o cromossomo 2 e o 2' são acrocêntricos.
15. (Ufla-MG) Na espécie humana, o número diploide de cromossomos é 46. Quantos cromossomos serão encontrados, respectivamente, nos espermatozoides, óvulos e células epidérmicas?
- 23, 23, 46
 - 22, 22, 46
 - 22, 22, 44
 - 23, 23, 44
16. (USJ-SC) As estruturas grossas e bem individualizadas, visíveis no núcleo durante o período de divisão celular, são denominadas
- cariótipos.
 - cromossomos.
 - nucléolos.
 - cromatina.
17. (UFSM-RS-Adaptado) Qual a alternativa que apresenta a associação correta entre os itens A, B e C e os itens 1, 2, 3 e 4?
- | | |
|-----------|---------------|
| 1. Genoma | 3. Cromossomo |
| 2. Gene | 4. Cariótipo |
- Segmento de DNA que contém instrução para a formação de uma proteína.
 - Estrutura formada por uma única molécula de DNA, muito longa, associada a proteínas, visível durante a divisão celular.
 - Conjunto de genes de uma espécie.
- A — 1; B — 2; C — 3.
 - A — 2; B — 3; C — 1.
 - A — 2; B — 4; C — 1.
 - A — 3; B — 2; C — 4.
 - A — 3; B — 4; C — 1.

18. (UFF-RJ) O cariótipo humano é constituído pelo conjunto completo dos cromossomos ordenados de um indivíduo. No exame pré-natal de um casal cuja futura mãe tenha mais de 35 anos de idade e apresente casos de doenças genéticas na família, o médico deve indicar uma avaliação do cariótipo fetal.



O cariótipo humano esquematizado acima é referente a um indivíduo com certas características apontadas em uma das opções. Indique-a.

- normal e do sexo masculino
- com síndrome de Klinefelter e do sexo masculino
- com síndrome de Down e do sexo masculino
- com síndrome de Klinefelter e do sexo feminino
- com síndrome de Down e do sexo feminino

Questões discursivas

19. (Unicamp-SP) Uma célula que apresenta grande quantidade de síntese de proteínas tende, em geral, a apresentar um grande nucléolo. Explique a relação.
20. (UFRJ) Num laboratório, o núcleo de uma célula da espécie A foi retirado e implantado numa célula-ovo da espécie B, cujo núcleo havia sido previamente removido. Caso essa célula-ovo se desenvolvesse até a formação de um novo indivíduo, ele teria as características da espécie A ou as da espécie B? Justifique sua resposta.
21. (UFRJ) O projeto do genoma humano pretende obter a sequência completa do DNA dos cromossomos. As células somáticas humanas possuem 46 cromossomos. Qual o número mínimo de cromossomos que deve ser sequenciado para que se obtenha essa informação? Justifique sua resposta.
22. (Fuvest-SP) Os cromossomos humanos podem ser estudados em células do sangue. Essa análise pode ser feita tanto em linfócitos quanto em hemácias? Por quê?

Capítulo

8

Divisão celular: mitose e meiose

No mundo celular, dividir é sinônimo de duplicar, pois quando se dividem as células se duplicam.

Neste capítulo discutiremos a importância, para o organismo e para a sobrevivência das espécies, da divisão das células e da regulação do ciclo celular.

8.1 Importância da divisão celular

Cada um de nós foi, um dia, apenas uma célula que, por sucessivas divisões celulares, originou os trilhões de células constituintes do corpo.

8.2 Mitose

Na mitose, os cromossomos previamente duplicados são distribuídos equitativamente entre as duas células-filhas.

8.3 Regulação do ciclo celular

A célula é capaz de identificar eventuais erros no ciclo celular, interrompendo-o até que sejam feitas as correções ou desencadeando a morte programada da célula.

8.4 Meiose

Na meiose, os cromossomos homólogos emparelham-se e trocam pedaços; essa é a essência do processo sexual.

Nosso corpo em reconstrução

A maioria de nossas células é substituída várias vezes durante a vida. Assim, de certa maneira, nosso corpo é continuamente reconstruído enquanto vivemos. Isso ocorre porque as células se duplicam pelo processo de mitose.

SATTU



SANGUE

As células vermelhas do sangue humano, as hemácias, vivem cerca de 3 meses. Em 80 anos de vida, elas são substituídas quase 320 vezes. Como uma pessoa tem em torno de 27 trilhões de hemácias no sangue, isso significa mais de 8 quatrilhões de células vermelhas produzidas ao longo da vida.

UNHAS DOS DEDOS DAS MÃOS

Nossas unhas são constituídas pela proteína queratina em alto grau de compactação. A unha é produzida por células localizadas na base dela e, no caso dos dedos das mãos, pode crescer até 1 mm por semana. Se não cortássemos as unhas e se elas não se desgastassem, aos 80 anos de idade poderíamos ter unhas com 4 m de comprimento.

MUCOSA GÁSTRICA

Apesar da camada de muco que as protege, as células que revestem nosso estômago sofrem a ação corrosiva do suco gástrico e vivem menos de uma semana. Para manter a integridade do revestimento estomacal, essas células são continuamente substituídas devido à intensa atividade mitótica.

CABELO

Nossos cabelos são constituídos pela proteína queratina, compactada e arranjada na forma de pequenas escamas. Embora o crescimento de cabelos varie, e eles caiam e sejam substituídos, os fios podem crescer entre 10 cm e 18 cm por ano. Se não cortássemos o cabelo regularmente, poderíamos ostentar uma cabeleira com alguns metros de comprimento.

CÉLULAS OLFATIVAS

Ao contrário da maioria dos neurônios, que nunca são substituídos, as células nervosas responsáveis pela percepção dos odores vivem entre 30 e 90 dias. Elas são continuamente substituídas pela multiplicação de células-tronco localizadas na base do revestimento nasal.

PELE

A superfície externa da pele é constituída por células mortas e impregnadas de queratina. A camada queratinizada da pele descama-se e é continuamente substituída. Desde sua origem, na camada epidérmica mais profunda, até a queratinização e a morte, passam-se cerca de 30 a 40 dias. Assim, em um ano, trocamos nosso revestimento corporal aproximadamente 10 vezes.



Para pensar

O zigoto, a primeira célula de nosso corpo, após milhares e milhares de divisões sucessivas, dá origem às dezenas de trilhões de células que nos constituem. Assim, na “matemática” celular, dividir significa multiplicar. Como você explicaria essa aparente contradição aritmética?

Importância da divisão celular

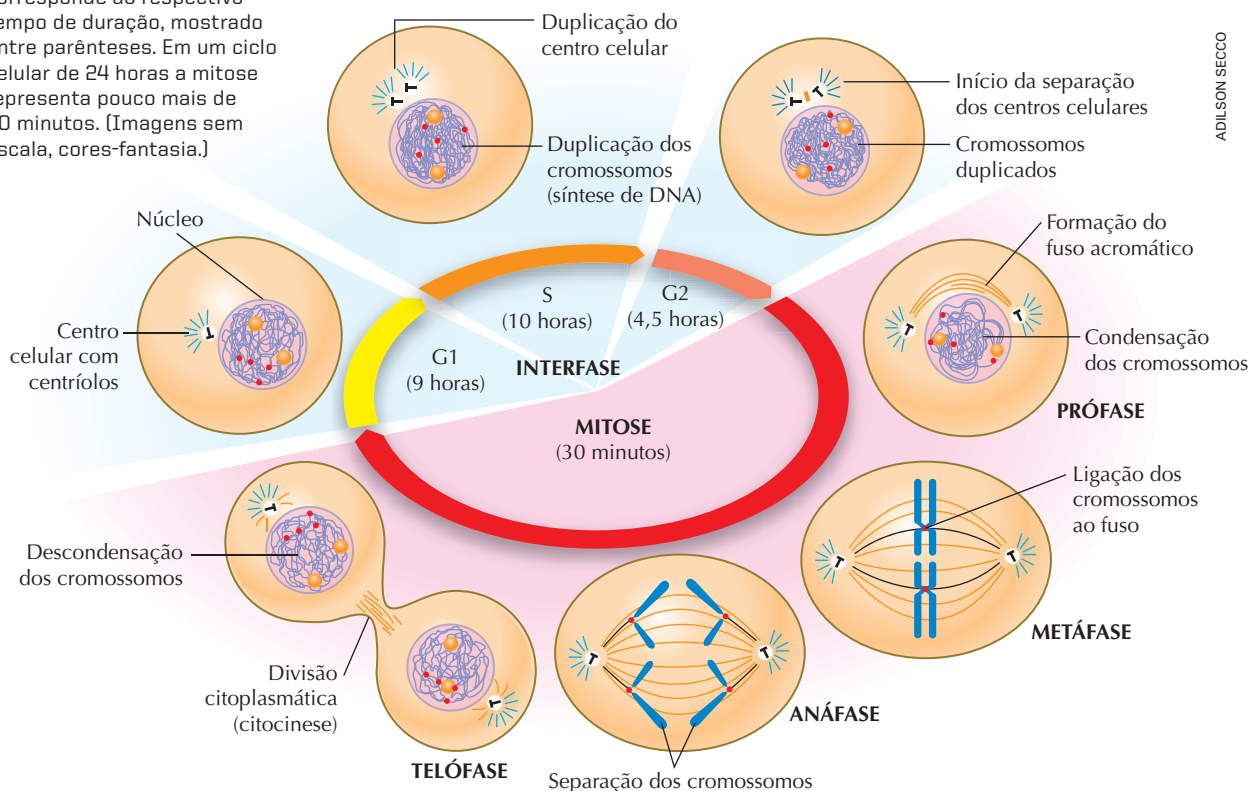
Habilidades sugeridas

- Reconhecer o papel da mitose na reprodução de organismos unicelulares e no crescimento e desenvolvimento de organismos multicelulares.
- Conhecer as principais subdivisões do ciclo celular, relacionando-as ao processo de duplicação do DNA cromossômico.

Conceitos principais

- divisão celular
- ciclo celular
- mitose
- citocinese
- interfase

Figura 8.1 Representação esquemática do ciclo celular. Note que, no círculo central, a área em que está representada cada fase do ciclo celular não corresponde ao respectivo tempo de duração, mostrado entre parênteses. Em um ciclo celular de 24 horas a mitose representa pouco mais de 30 minutos. [Imagens sem escala, cores-fantasia.]



1 Por que as células se dividem?

Neste exato momento, centenas de milhares de células em seu corpo estão se reproduzindo: células da epiderme multiplicam-se para repor continuamente as que morrem e cujos restos formam a camada córnea da pele; unhas e cabelos crescem graças à incessante formação de novas células em suas bases; na medula de certos ossos, células se multiplicam para originar hemácias e leucócitos do sangue.

O processo pelo qual uma célula se reproduz e origina células-filhas é denominado **divisão celular**. Neste caso, dividir significa duplicar, pois as novas células formadas crescem e tornam-se idênticas à célula original. A divisão celular é a maneira pela qual organismos unicelulares se reproduzem e as células dos organismos multicelulares se multiplicam, possibilitando o crescimento. Cada um de nós já foi uma única célula, a partir da qual surgiram, por divisões celulares sucessivas, as dezenas de trilhões de células que formam nosso corpo.

Nos organismos multicelulares adultos, há células que se dividem continuamente, como as da base da epiderme e as da medula óssea vermelha, e outras que nunca se dividem, como a maioria das células nervosas e musculares. Certos tipos de célula, embora normalmente não se dividam, podem readquirir a capacidade de divisão se necessário. Por exemplo, células de nossa pele denominadas fibroblastos voltam a se dividir quando ocorre um ferimento, promovendo sua cicatrização.

2 O conceito de ciclo celular

A divisão da célula faz parte do que os biólogos denominam **ciclo celular**, período que se inicia com o surgimento da célula, a partir da divisão de uma célula preexistente, e termina quando ela se divide em duas células-filhas. (Fig. 8.1)

ADILSON SECCO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Os citologistas dividem o ciclo celular em duas etapas principais: divisão celular e interfase. A divisão celular compreende a **mitose** (divisão do núcleo) e a **citocinese** (divisão do citoplasma). Em geral, a mitose e a citocinese duram menos de 1 hora, o que corresponde a cerca de 5% da duração total do ciclo celular de células que se multiplicam ativamente. Nos 95% do tempo restantes, a célula permanece em **interfase**, definida como o período entre duas divisões celulares consecutivas.

A interfase

Durante a interfase, os filamentos cromossômicos permanecem descondensados no interior do núcleo, constituindo a cromatina. É nesse período que o DNA cromossômico está em plena atividade, produzindo moléculas de RNA com instruções para a síntese de proteínas. É também durante a interfase que a célula cresce e que as moléculas de DNA dos cromossomos se duplicam, preparando a célula para a próxima divisão.

Com base no período em que os cromossomos se duplicam, a interfase é subdividida em três fases: **G1**, que antecede a duplicação do DNA cromossômico; **S**, período em que o DNA cromossômico está sendo duplicado; **G2**, que sucede a duplicação cromossômica. A sigla S deriva da palavra inglesa *synthesis*, em referência à síntese de DNA; durante a fase S, a quantidade de DNA no núcleo é duplicada. As siglas G1 e G2 derivam da palavra inglesa *gap* (intervalo) e indicam os momentos anterior (G1) e posterior (G2) à síntese de DNA. (Fig. 8.2)

Considerando um ciclo celular de 24 horas, a célula passaria a maior parte desse ciclo em interfase, sendo entre 9 e 11 horas em G1, entre 8 e 10 horas em S (duplicando os cromossomos) e entre 4 e 5 horas em G2. Como já mencionamos, a divisão celular ocupa um tempo relativamente curto do ciclo, entre 30 minutos e uma hora.

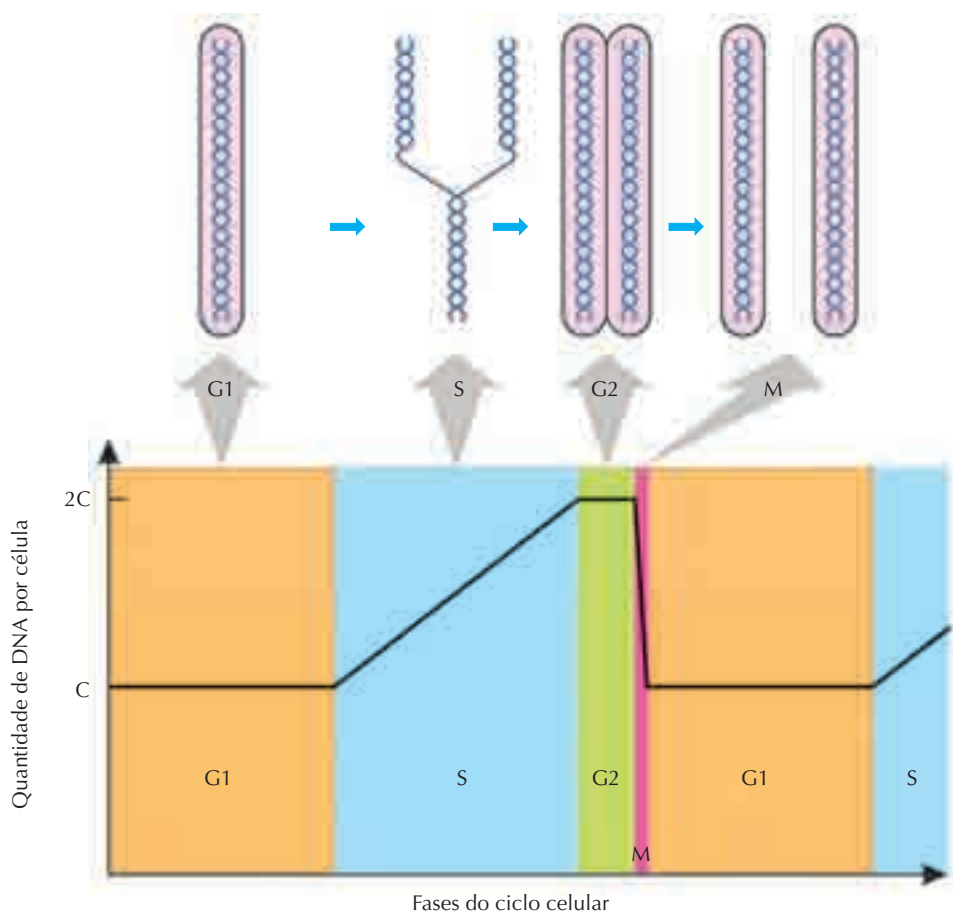
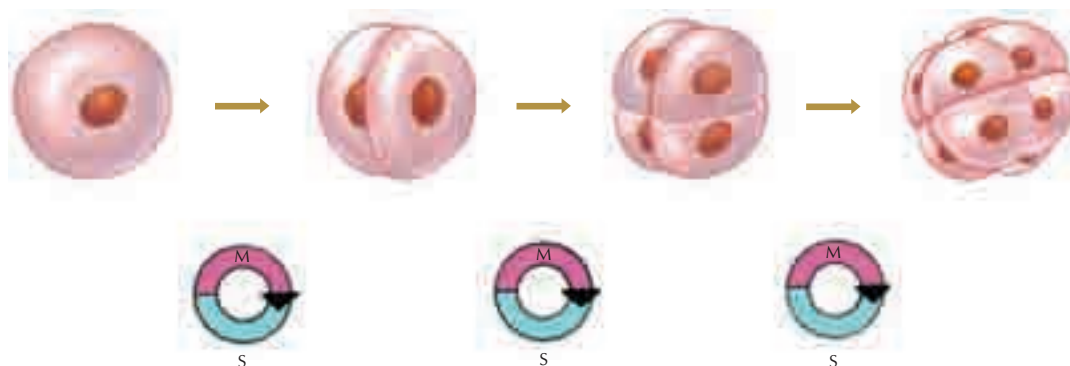


Figura 8.2 Acima, representação esquemática da relação entre DNA e cromossomos nas diversas fases do ciclo celular. Em G1 cada cromossomo contém apenas uma molécula de DNA; em S ocorre a duplicação do DNA; em G2, o cromossomo está constituído por dois cromátides-irmãos, cada um contendo uma molécula de DNA; as cromátides-irmãos separam-se na mitose (M). Abaixo, gráfico da variação da quantidade de DNA em uma célula durante o ciclo celular. [Imagens sem escala, cores-fantasia.]

No início do desenvolvimento embrionário da maioria dos animais, os ciclos celulares são muito curtos; as células quase não crescem, dividindo-se em ritmo acelerado para gerar as novas células do embrião. Nestas, a interfase reduz-se praticamente à fase S, que é mais curta que nas células adultas, ou seja, os cromossomos duplicam-se com mais rapidez. (Fig. 8.3)

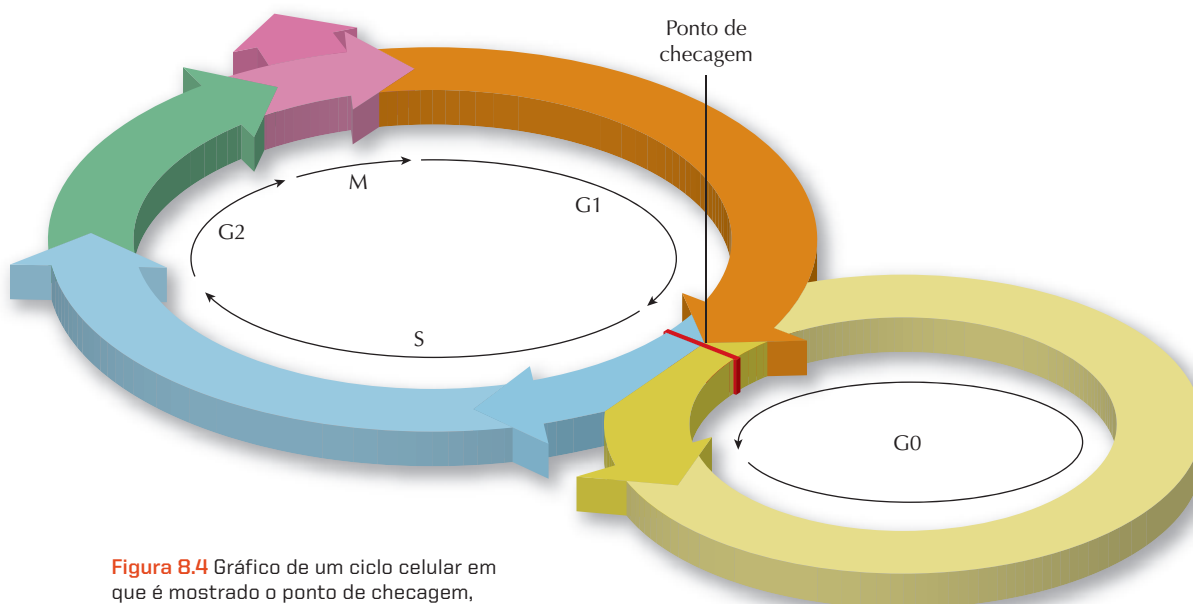


OSVALDO SANCHES SEQUETIN

Figura 8.3 Representação esquemática do ciclo celular em células embrionárias. No início do desenvolvimento embrionário de muitos animais, as divisões ocorrem praticamente sem intervalo. Nesse período, o ciclo celular consiste de apenas duas etapas: a fase S da interfase, em que os cromossomos se duplicam, e a divisão celular (representada por M); as fases G1 e G2 praticamente não existem. Não há crescimento celular e as células-filhas repartem sucessivamente o citoplasma da célula-mãe, diminuindo progressivamente de tamanho. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)

A frequência das divisões celulares varia com o tipo e o estado fisiológico das células. Por exemplo, células de nosso duodeno dividem-se a cada 24 horas, enquanto células de nosso esôfago dividem-se semanalmente. A maioria das células nervosas e musculares adultas nunca se divide. Células como as do fígado, dos rins e dos pulmões só voltam a se dividir para reconstituir partes lesadas.

Células que se dividem com pouca frequência podem ingressar em uma fase denominada **G0** (G zero). Se a célula não encontra todos os fatores necessários para passar à fase S, ao atingir determinado ponto da fase G1, denominado “ponto de checagem”, ela entra em G0: seu metabolismo continua normal, mas a divisão celular é bloqueada. Em determinadas situações, a célula pode ser estimulada a reingressar na fase G1 e volta a se dividir. A maioria de nossas células nervosas permanece na fase G0 por toda a vida. Um tipo especial de célula de nossa pele, o fibroblasto, permanece em G0 até ser estimulado a reparar danos causados por um ferimento, por exemplo. (Fig. 8.4)



ADILSON SECCO

Figura 8.4 Gráfico de um ciclo celular em que é mostrado o ponto de checagem, quando a célula “decide” se prossegue para a mitose ou se entra em fase G0.

Habilidades sugeridas

- Reconhecer e identificar, em esquemas e fotografias de células em divisão, as principais fases da mitose: prófase, metáfase, anáfase e telófase.
- Compreender a relação funcional entre os processos de condensação dos cromossomos, formação do fuso mitótico e distribuição dos cromossomos para as células-filhas.
- Distinguir a citocinese animal da citocinese vegetal.

Conceitos principais

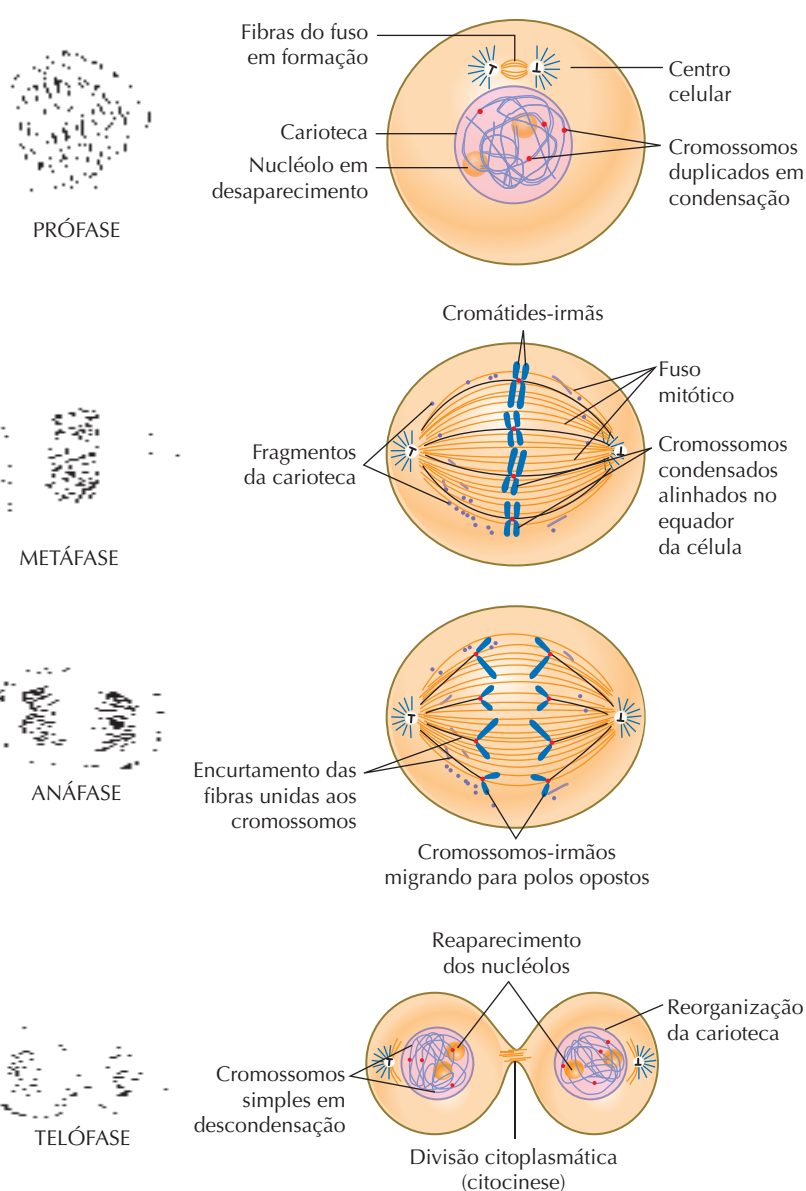
- prófase
- fuso mitótico
- metáfase
- cinetócoro
- placa metafásica
- anáfase
- telófase
- citocinese

1 Eventos da divisão celular

O processo de divisão da célula apresenta dois momentos: a duplicação do núcleo, em que se formam dois núcleos-filhos, e a divisão do citoplasma, que completa a divisão celular. A duplicação do núcleo é a mitose e a divisão citoplasmática é a citocinese. Apesar dessa distinção, é comum utilizar-se o termo mitose como sinônimo do processo completo de divisão celular das células eucarióticas.

A mitose é um processo contínuo, com duração entre 30 e 60 minutos, em que uma célula acaba por se transformar em duas células-filhas. Ao longo da mitose há eventos marcantes, que foram escolhidos pelos cientistas para caracterizar quatro fases no processo. As fases da mitose são denominadas, em sequência: prófase, metáfase, anáfase e telófase. Alguns consideram uma fase entre a prófase e a metáfase, a prometáfase, mas o uso desse termo geralmente é restrito aos especialistas. (Fig. 8.5)

ILUSTRAÇÕES: WALTHER FLEMMING



ILUSTRAÇÕES EM CORES: ADILSON SECCO

Figura 8.5 De cima para baixo, representação esquemática da sequência das fases da mitose. Os esquemas à direita representam fenômenos descobertos apenas com o emprego da microscopia eletrônica e de técnicas especiais de coloração. À esquerda são reproduzidos os desenhos publicados em 1882, pelo citologista alemão Walther Flemming (1843-1905), considerado o descobridor da mitose. [Imagens sem escala, cores-fantasia.]



2

Fases da mitose

Prófase

Durante a **prófase** (do grego *protos*, primeiro), a primeira fase da mitose, os cromossomos se condensam, acarretando o desaparecimento dos nucléolos, o fuso acromático começa a se formar e a carioteca se desfaz, dispersando os componentes nucleares no citoplasma. Vamos analisar mais detalhadamente o significado de cada uma dessas ocorrências.

Condensação dos cromossomos

A condensação cromossômica marca o início da prófase; gradativamente, os cromossomos tornam-se mais curtos e mais grossos, e cada vez mais visíveis ao microscópio óptico. A fibra cromossômica enrola-se sobre si mesma devido à ação de uma proteína, a **condensina**, recentemente descoberta. A condensação facilita a separação dos cromossomos e sua posterior distribuição para as células-filhas, evitando embaraçamentos e quebras.

À medida que se condensa, o cromossomo vai reduzindo sua atividade, uma vez que a compactação impede fisicamente o DNA de produzir moléculas de RNA. Uma consequência direta da condensação cromossômica é a redução progressiva dos nucléolos, até seu total desaparecimento. Isso se explica porque os nucléolos são constituídos por moléculas de RNA ribossômico associadas a proteínas, e a inativação da região cromossômica organizadora do nucléolo leva à interrupção na síntese de RNA. Como os componentes nucleolares estão sempre migrando para o citoplasma, onde originam os ribossomos, o nucléolo desaparece durante a prófase e só reaparecerá quando os cromossomos voltarem a se descondensar, na telófase.

Início da formação do fuso acromático

Outro evento que marca a prófase é o início da formação do **fuso mitótico**, também chamado de **fuso acromático** (acromático por não se corar com facilidade). O fuso é um conjunto de microtúbulos, também denominados fibras do fuso, orientados de um polo a outro da célula; sua função é conduzir os cromossomos para polos celulares opostos durante a anáfase.

Durante a formação do fuso mitótico, há total reestruturação do citoesqueleto da célula: a maioria dos microtúbulos se desagrega e as moléculas de tubulina que os constituíam são utilizadas para produzir os microtúbulos do fuso mitótico. A formação do fuso é coordenada pelo centrôssomo, região do citoplasma relacionada com a estruturação do citoesqueleto.

O centrôssomo duplica-se na fase S, simultaneamente à duplicação cromossômica, e os dois novos centrôssomos permanecem juntos até o início da prófase. Nesta fase, os centrôssomos migram para polos opostos da célula e, em sua migração, orientam microtúbulos em formação a se organizar, formando feixes de fibras entre os dois polos celulares. Em células animais, no centrôssomo há um par de centríolos, ausente em células de vegetais e de fungos. Além disso, somente em células animais microtúbulos organizam-se ao redor de cada centrôssomo, constituindo uma estrutura denominada âster. (Fig. 8.6)

Fragmentação da carioteca

O evento que marca o final da prófase é o desaparecimento da carioteca. A lâmina nuclear se desfaz e as membranas componentes do envoltório nuclear fragmentam-se em pequenas bolsas, que se espalham pelo citoplasma. As proteínas componentes dos poros também se dissociam e ficam dispersas no líquido citoplasmático.

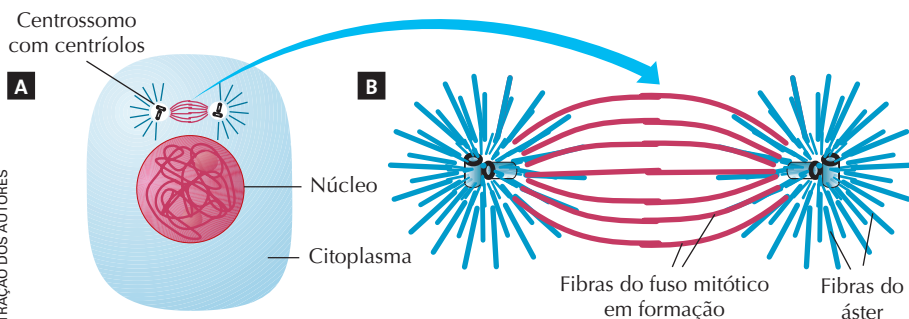


Figura 8.6 **A.** Representação esquemática de uma célula animal em início de prófase, com o fuso em formação. **B.** Em maior aumento, organização geral do fuso, com fibras entre os centros celulares e fibras do âster ao redor de cada centríolo. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)

Metáfase

A **metáfase** (do grego *meta*, meio) sucede a prófase e seu início é marcado pela desagregação da carioteca e liberação dos cromossomos, já altamente condensados, no citoplasma. Desde a interfase, cada cromossomo encontra-se duplicado, constituído por duas cromátides-irmãs mais intimamente unidas na região do centrômero. Apenas na metáfase, porém, essa constituição cromossômica torna-se visível, graças ao alto grau de condensação.

Cada cromátide possui seu próprio **cinetócoro**, uma estrutura proteica localizada na região do centrômero e que tem afinidade pelas fibras do fuso. Em determinado momento, microtúbulos que partem dos centrôssomos “fisgam” os cromossomos, capturando-os pelos cinetócoros.

Quando o cinetócoro de uma cromátide é capturado por microtúbulos ligados a um dos polos da célula, o cinetócoro da cromátide-irmã volta-se automaticamente para o polo oposto. Isso permite que ele seja capturado por microtúbulos desse polo e, assim, as cromátides-irmãs de cada cromossomo prendem-se a polos opostos da célula. (Fig. 8.7)

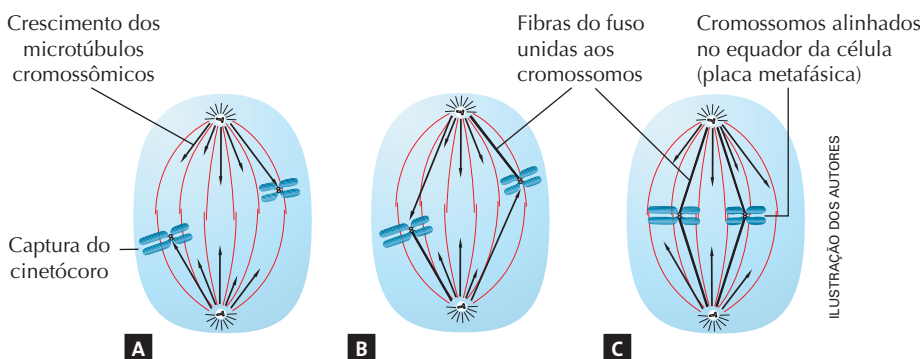


Figura 8.7 Representação esquemática do processo de união dos cromossomos ao fuso mitótico, com formação da placa metafásica. **A.** Captura dos cromossomos, por microtúbulos de um dos polos. **B.** Ligação de microtúbulos do outro polo ao cinetócoro da cromátide-irmã. **C.** Alinhamento dos cromossomos, formando a placa metafásica. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)

Os microtúbulos que ligam cromátides-irmãs a polos celulares opostos, chamados de microtúbulos cromossômicos, começam a se encurtar tensionando o centrômero. O equilíbrio entre as tensões dos microtúbulos de lados opostos leva os cromossomos para a região mediana da célula, fazendo com que fiquem a meio caminho entre os polos celulares, ou seja, no plano equatorial da célula. O conjunto de cromossomos estacionados na região mediana da célula é denominado **placa metafásica**, ou placa equatorial. O termo metáfase refere-se justamente ao fato de os cromossomos se alinharem no “meio” (*meta*) da célula. (Fig. 8.8)

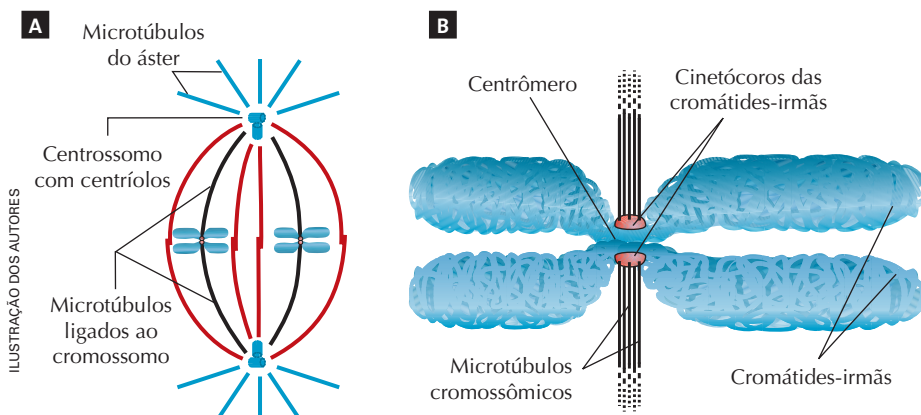


Figura 8.8 **A.** Representação esquemática do fuso mitótico com dois cromossomos alinhados na placa metafásica. **B.** Detalhe dos feixes de microtúbulos que prendem as cromátides-irmãs a polos opostos. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)

A mitose somente prossegue quando a placa metafásica forma-se completamente, com cada cromossomo preso aos dois polos do fuso. Os cientistas denominaram esse momento de “ponto de checagem” do ciclo celular (veja na seção 8.3 “Regulação do ciclo celular”, mais adiante). Se os cromossomos duplicados não se unirem corretamente ao fuso, haverá erro em sua distribuição para as células-filhas; assim, a mitose se detém antes que isso aconteça. Uma vez concluída a formação da placa equatorial, entra em ação uma enzima que separa as cromátides-irmãs de cada cromossomo.

A **prometáfase**, etapa da mitose que alguns autores situam entre a prófase e a metáfase, começaria com a ruptura da carioteca e terminaria com a formação da placa metafásica. Nesse caso, o termo metáfase indicaria apenas o período em que os cromossomos estão alinhados no plano equatorial, prontos para iniciar a migração em direção aos polos.

Certas drogas, como a colchicina e o colcemide, impedem que os cromossomos migrem para os polos durante a anáfase, interrompendo a mitose. Essas drogas ligam-se às moléculas de tubulina e impedem a polimerização dos microtúbulos. Na presença delas, a mitose prossegue normalmente até a metáfase, quando o processo é interrompido devido à ausência de microtúbulos, necessários para puxar os cromossomos para os polos. Após algum tempo, os cromossomos se descondenam e a carioteca se reconstitui. O núcleo reconstituído, porém, tem agora o dobro do número de cromossomos originalmente presente na célula, pois não houve separação das cromátides-irmãs. Relembre que, no estudo dos cromossomos humanos (veja o **capítulo 7**), a colchicina é empregada para bloquear a divisão dos linfócitos em metáfase, o que facilita o exame do cariótipo.

Anáfase

A **anáfase** (do grego *ana*, separação) é a fase em que as cromátides-irmãs se separam, puxadas para polos opostos pelo encurtamento dos microtúbulos do fuso. Esse encurtamento ocorre pela liberação de moléculas de tubulina nas extremidades dos microtúbulos associados ao cinetócoro. (Fig. 8.9)

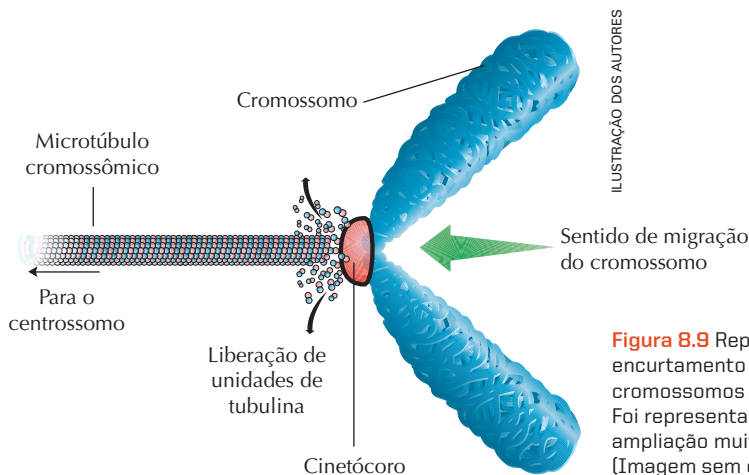


Figura 8.9 Representação esquemática do encurtamento dos microtúbulos que faz os cromossomos serem puxados para os polos. Foi representado apenas um microtúbulo, em ampliação muito maior que a do cromossomo. [Imagem sem escala, cores-fantasia.]

Não disjunção na mitose

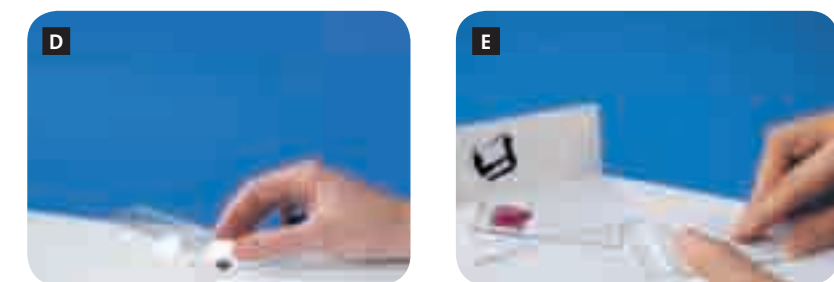
Raramente, ambas as cromátides de um cromossomo podem migrar juntas para o mesmo polo celular. Esse fenômeno, conhecido como **não disjunção cromossômica**, leva a um erro na distribuição dos cromossomos: uma das células-filhas fica com um cromossomo a mais e a outra com um cromossomo a menos. A presença de cromossomos a mais ou a menos na célula é denominada aneuploidia.

Telófase

Na **telófase** (do grego *telos*, fim), à medida que os cromossomos se descondenam, bolsas membranosas prendem-se a eles e fundem-se entre si, reconstituindo as duas membranas da carioteca. Simultaneamente, a lâmina nuclear reconstitui-se e os componentes dos poros nucleares, que estavam dispersos no citosol, distribuem-se entre as bolsas membranosas. Estas, por sua vez, se fundem, reconstituindo os poros nucleares. Finalmente, os nucléolos reaparecem, pois, com a descondensação das regiões cromossômicas organizadoras do nucléolo, a produção de RNA ribossômico é retomada.

Durante a organização dos dois novos núcleos, os microtúbulos do fuso mitótico progressivamente desagregam-se e inicia-se a citocinese, que levará à formação de duas novas células. Cada uma delas terá um centróssomo, a partir do qual será reorganizado o citoesqueleto típico da célula em interfase.

A mitose origina células-filhas com mesmo número e mesmos tipos de cromossomos da célula-mãe. Portanto, quando uma célula diploide ($2n$) sofre mitose, formam-se duas células diploides. Caso a célula-mãe seja haploide (n), a mitose originará duas células-filhas haploides. (Fig. 8.10)



Preparação das lâminas de raiz de cebola (fotos A-E)

1. Colocam-se as cebolas em água para estimular a formação de raízes. Cortam-se as raízes entre 2 mm e 3 mm das extremidades, colocando as pontas em um tubo de ensaio com uma solução do coranteorceína acética (1% deorceína em ácido acético a 70%).
2. Aquece-se ao fogo a lateral do tubo, um pouco acima do nível do corante, até que a solução deorceína comece a ferver.
3. Após três ou quatro ferveruras da solução, despeja-se o conteúdo do tubo em uma placa. As pontas das raízes são transferidas para uma gota deorceína fria sobre uma lâmina de vidro para microscopia e picadas com auxílio de duas agulhas presas a bastões de madeira.
4. Coloca-se uma lamínula de vidro sobre a gota deorceína contendo os fragmentos de raiz. Coloca-se a lamínula, com a lamínula para cima, entre duas metades de um pedaço de papel mata-borrão dobrado, pressionando-a com o polegar para esmagar os fragmentos de raiz e espalhar as células. Depois de vedar as bordas da lamínula com esmalte para unhas, a preparação está pronta para ser observada ao microscópio óptico.

Observação das células em divisão (micrografias)

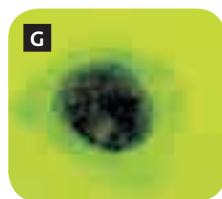
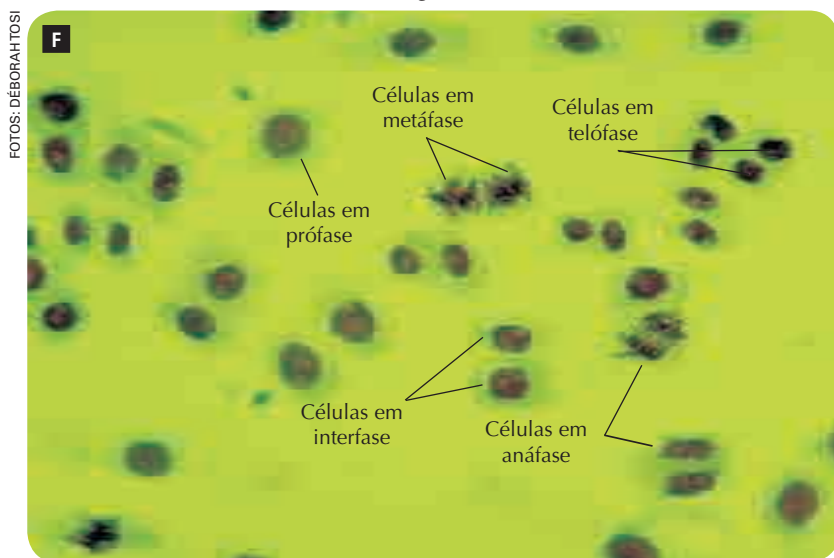
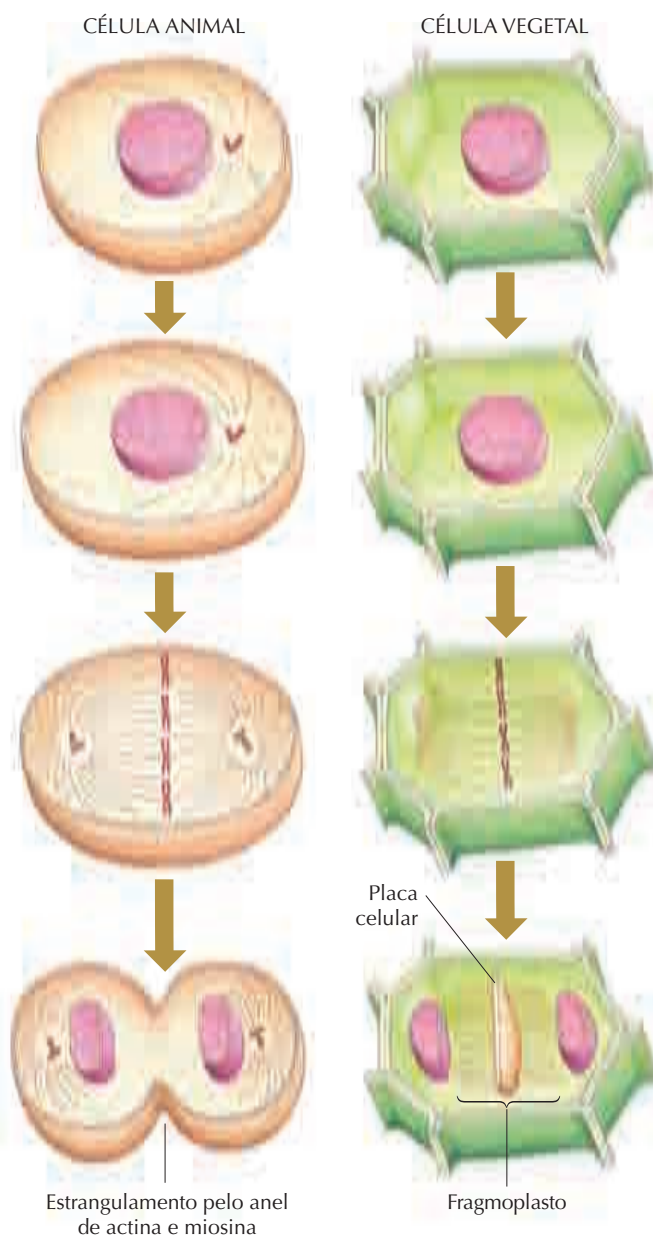


Figura 8.10 Observação da mitose ao microscópio óptico em células do meristema apical de raiz de cebola. **A-E.** Procedimento laboratorial para confecção das preparações citológicas pela técnica de esmagamento. **F.** Visão geral de um campo microscópico em pequeno aumento ($\approx 280\times$), mostrando células em vários estágios da mitose. **G-K.** Células fotografadas em maior aumento ($\approx 750\times$), mostrando as diversas fases do ciclo celular: **G.** Interfase. **H.** Prófase. **I.** Metáfase. **J.** Anáfase. **K.** Telófase.

O processo de divisão do citoplasma, ao final da mitose, é chamado de **citocinese**. Nas células animais e de protozoários, a citocinese ocorre pelo estrangulamento da célula na região equatorial, causado por um anel de filamentos contráteis. Esses filamentos, constituídos por moléculas de actina e de miosina, formam uma espécie de cinta que comprime progressivamente a região equatorial da célula até parti-la em duas. Por iniciar na periferia, avançando para o centro da célula, esse tipo de divisão citoplasmática é chamado de **citocinese centrípeta**.

Nas células das plantas, a presença da parede celulósica impossibilita o estrangulamento, e a citocinese é totalmente diferente da de uma célula animal. Ao final da telófase, resta na região mediana da célula vegetal um conjunto de microtúbulos provenientes do fuso em desagregação, dispostos paralelamente ao eixo axial da célula. Esse conjunto de microtúbulos, denominado **fragmoplasto**, orienta a deposição de bolsas membranosas com pectina, originadas no complexo golgiense. Essas bolsas fundem-se umas às outras e formam uma placa na região mediana da célula (lamela média), que cresce pela agregação de novas vesículas golgienses em suas bordas, até encostar na parede celulósica, separando então as duas células-filhas. A divisão do citoplasma das células vegetais, pelo fato de ocorrer do centro para a periferia, recebe o nome de **citocinese centrífuga**. (Fig. 8.11)



JURANDIR RIBEIRO

Figura 8.11 Representação esquemática em que se compara a divisão de uma célula animal com a de uma célula vegetal. (Imagens sem escala, cores-fantasia.) (Baseado em Lodish, H. e cols., 2005.)

Regulação do ciclo celular

Pontos de checagem do ciclo celular

A progressão de uma célula ao longo do ciclo celular, isto é, sua passagem pelas fases G₁, S, G₂ e mitose, depende de fatores externos e internos à célula. Em geral, as células precisam ser estimuladas a se dividir por substâncias denominadas **fatores de crescimento celular**. Mesmo na presença desses fatores, certas células só duplicam o DNA quando atingem um tamanho mínimo, necessário à produção de células-filhas viáveis. Mesmo que essas duas condições sejam atendidas, o ciclo celular pode ainda ser interrompido em determinados momentos, por exemplo, caso ocorram danos às moléculas de DNA. Os pontos específicos do ciclo celular, em que a célula “decide” se o prossegue ou não, são chamados **pontos de checagem**. (Fig. 8.12)

O principal ponto de checagem do ciclo celular ocorre no final da fase G₁. Se, nesse momento, não estiverem presentes os fatores de crescimento necessários, a célula entrará em G₀ em vez de entrar em S, e poderá permanecer longo tempo nesse estágio, sem se dividir. Como mencionamos anteriormente, os fibroblastos da pele permanecem em G₀ até a ocorrência de um ferimento, por exemplo. Nesse caso, sua proliferação é estimulada por um fator de crescimento liberado pelas plaquetas sanguíneas. Esse fator atinge os fibroblastos da vizinhança da lesão, levando-os a duplicar seu DNA e a se dividir, originando novas células que atuam na cicatrização do ferimento.

Além do ponto de checagem no final da fase G₁, há outros mecanismos sinalizadores que fazem com que os eventos do ciclo ocorram em uma sequência definida e coordenada. Por exemplo, é fundamental que a célula só comece a se dividir depois de ter completado a duplicação dos cromossomos. Se isso não ocorresse, as células-filhas receberiam cópias incompletas dos cromossomos da célula-mãe.

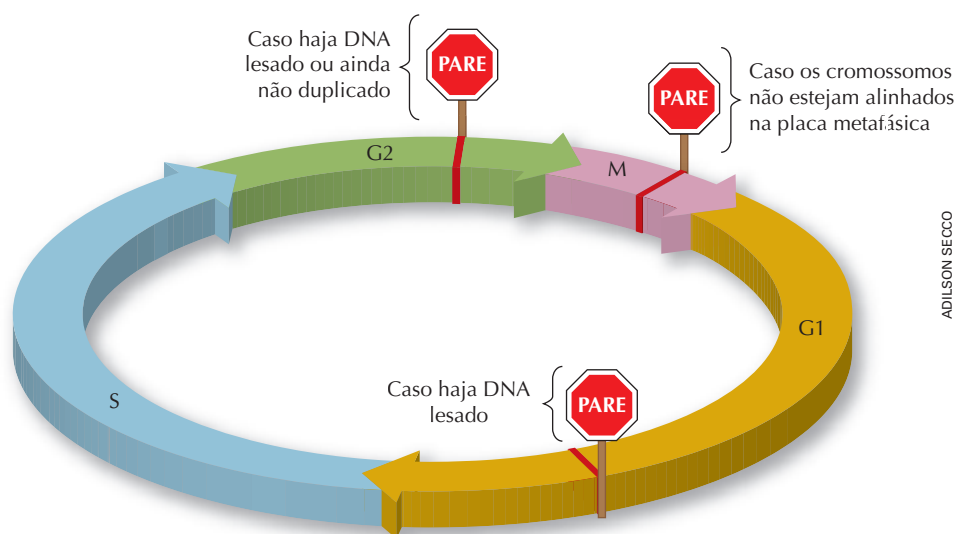


Figura 8.12 Gráfico do ciclo celular com alguns pontos de checagem. O ponto principal ocorre no final da fase G₁; se, nesse momento, são detectadas lesões no DNA, a célula interrompe o progresso do ciclo até que as lesões sejam reparadas. Outro ponto de checagem é no final da fase G₂, quando a célula “decide” se entra ou não em mitose. Durante a mitose, o ponto de checagem ocorre na metáfase e a divisão só prossegue se os cromossomos estão corretamente presos ao fuso.

Quando uma célula em fase S é submetida a agentes mutagênicos, como certos tipos de radiação, por exemplo, podem ocorrer danos no DNA. Esses danos são detectados por um ponto de checagem na fase G2, e o início da mitose é retardado até que a célula realize os devidos reparos no DNA. Essas interrupções são estratégicas, pois permitem que o DNA seja “consertado” antes de a célula iniciar sua duplicação, evitando assim que moléculas lesadas sejam transmitidas às células-filhas. Se não é possível reparar as moléculas de DNA prejudicadas, tem início uma série de eventos que leva a célula danificada deliberadamente à morte, processo denominado **apoptose**.

CIÊNCIA E CIDADANIA

O que é câncer?

1 Durante a vida de um animal, as divisões celulares são rigorosamente controladas, de modo a garantir o bom funcionamento do organismo. Ao longo do desenvolvimento embrionário e das fases jovens da vida, as divisões celulares são intensas e os diversos órgãos se formam e crescem até atingir seu tamanho definitivo. Na fase adulta, o ritmo das divisões celulares diminui, passando a ocorrer apenas quando há necessidade de repor as células que morrem naturalmente ou em consequência de acidentes.

2 Entretanto, certas alterações genéticas podem danificar o sistema de controle da divisão celular, levando a célula a crescer e se multiplicar sem necessidade. Caso essa tendência de multiplicação incontrolada seja transmitida às células-filhas, surgirá um clone de células com propensão a se expandir indefinidamente: um **tumor**.

3 Um tumor pode ser constituído por células sem mobilidade, que ficam restritas ao local onde surgiram. Nesse caso, geralmente causa poucos problemas ao organismo e por isso é denominado **tumor benigno**. Por outro lado, alguns tipos de tumor têm células capazes de migrar e invadir tecidos vizinhos sadios: são os **tumores malignos**, ou **cânceres**. Pelas circulações sanguínea e linfática, as células tumorais atingem diversas regiões do corpo, onde podem originar novos tumores. O processo de disseminação de um tumor é denominado **metástase**. Tumores malignos geralmente são prejudiciais ao organismo e, se não são combatidos adequadamente, podem provocar a morte.

4 Costuma-se classificar os tumores malignos em dois grandes grupos: sarcomas e carcinomas. **Sarcomas** são provenientes de células originárias do mesoderma do embrião, enquanto **carcinomas** provêm de células originárias do ectoderma ou do endoderma. A leucemia é um tipo especial de sarcoma, que atinge os glóbulos brancos do sangue.

5 Com exceção da leucemia, em que as células tumorais estão livres no sangue, os tumores são estruturas sólidas. Um tumor pode crescer até atingir cerca de 1 milhão de células, produzindo uma estrutura mais ou menos esférica com cerca de 2 milímetros de diâmetro. Nesse ponto, as células mais internas do tumor começam a ter um problema

de nutrição, pois os nutrientes trazidos pelo sangue não chegam até elas. O esperado seria que essas células morressem e o tumor deixasse de crescer. Entretanto, a maioria dos tumores tem a capacidade de induzir a **angiogênese**, que é a formação de novos vasos sanguíneos. A descoberta de substâncias que bloqueiam a angiogênese tem sido motivo de otimismo entre os médicos, pois pode levar ao desenvolvimento de novos agentes terapêuticos para o combate ao câncer.

6 A transformação de uma célula normal em tumoral pode ocorrer devido a vários tipos de alteração genética: mutações gênicas, perdas e duplicações de cromossomos (inteiros ou pedaços), quebras cromossômicas etc. Como diz o pesquisador William C. Hahn (citado por W. Wayt Gibbs em um artigo na revista *Scientific American*, vol. 289, n. 1, 2003, p. 50), “se olharmos a maioria dos tumores sólidos em adultos, parece que alguém fez uma bomba explodir no núcleo das células”.

7 A teoria mais conservadora para a origem do câncer admite que, dependendo do tipo de tumor, para uma célula tornar-se maligna são necessárias de 3 a 20 mutações em uma sequência definida. Essas alterações ocorrem em duas classes principais de genes, denominados, respectivamente: **genes supressores de tumor** e **oncogenes**. Os primeiros produzem proteínas que impedem a progressão do ciclo celular quando há problemas. Os oncogenes estimulam as divisões celulares. Mutações nos genes supressores de tumor podem permitir que células alteradas se reproduzam. Modificações nos oncogenes podem fazer com que as células se dividam indefinidamente.

8 Devido à necessidade de diversas alterações para a formação de tumores, eles são mais frequentes em pessoas idosas. Uma pessoa de 70 anos de idade tem 100 vezes mais risco de ser portadora de um câncer que uma pessoa de 19 anos. Algumas vezes, a pessoa herda dos pais certas alterações genéticas que a tornam mais propensa a desenvolver tumores. Nesse caso, são necessárias menos mutações na própria pessoa para que a doença se manifeste. Essa é uma das razões de certas famílias apresentarem maior incidência de alguns tipos de câncer. (Fig. 8.13)



Recentemente descobriu-se uma proteína denominada p53, que participa da interrupção do ciclo celular em mamíferos, e é encontrada em larga escala em sua forma ativa sempre que moléculas de DNA são danificadas. Se os danos são muito grandes, essa proteína ativa a apoptose da célula afetada. Se a proteína p53 não funciona corretamente, células com DNA danificado podem se multiplicar e eventualmente se transformar em células cancerosas. Na verdade, o câncer só não é mais frequente graças à proteína p53, que desencadeia a apoptose das células portadoras de DNA lesado, que poderiam originar tumores malignos.

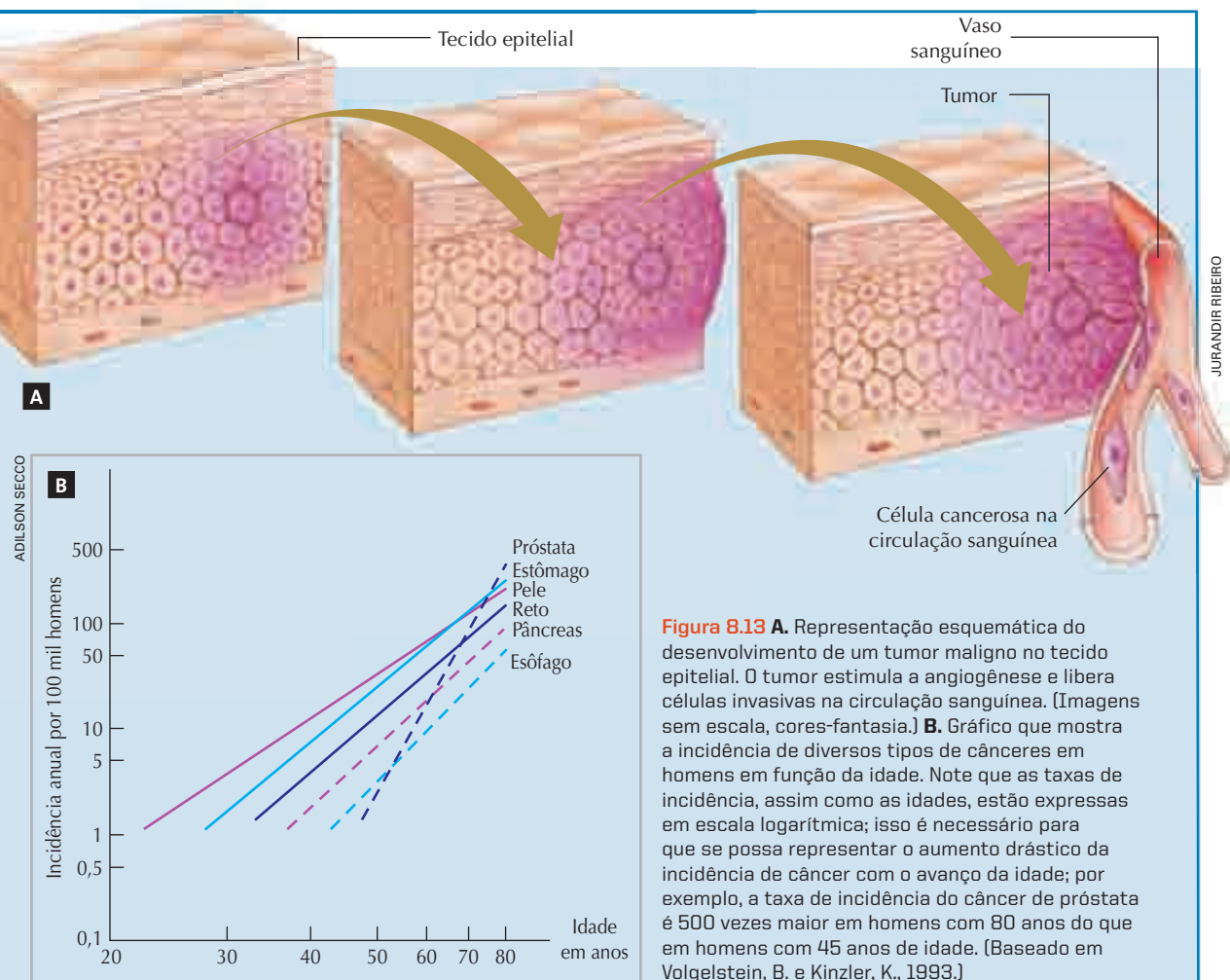


Figura 8.13 A. Representação esquemática do desenvolvimento de um tumor maligno no tecido epitelial. O tumor estimula a angiogênese e libera células invasivas na circulação sanguínea. (Imagens sem escala, cores-fantasia.) **B.** Gráfico que mostra a incidência de diversos tipos de cânceres em homens em função da idade. Note que as taxas de incidência, assim como as idades, estão expressas em escala logarítmica; isso é necessário para que se possa representar o aumento drástico da incidência de câncer com o avanço da idade; por exemplo, a taxa de incidência do câncer de próstata é 500 vezes maior em homens com 80 anos do que em homens com 45 anos de idade. (Baseado em Vogelstein, B. e Kinzler, K., 1993.)

GUIA DE LEITURA

1. Leia o primeiro parágrafo do quadro. Resuma a ideia central.
2. Leia o segundo parágrafo. Com base nele, explique o que é um tumor.
3. A partir da leitura do terceiro parágrafo, diferencie tumor benigno de tumor maligno e defina metástase.
4. Leia o parágrafo de número 4 do quadro. Que critério é utilizado para distinguir sarcoma de carcinoma?
5. No quinto parágrafo é apresentada uma “estratégia” dos tumores que atingem tamanho relativamente grande: a angiogênese. Explique o que isso significa.
6. Leia os parágrafos 6 e 7 do quadro, que comentam as origens do câncer. Quais são os principais tipos de genes cujas mutações podem causar câncer?
7. Leia o oitavo e último parágrafo do quadro. Analise o gráfico que relaciona diversos tipos de câncer à idade. Alguns oncologistas costumam dizer que, se todas as outras doenças fossem curadas, todos morreriam de câncer. Como você analisaria essa afirmação, baseando-se no que leu e na análise do gráfico?

Meiose

» Habilidades sugeridas

► Reconhecer a relação entre a meiose e a reprodução sexuada.

► Reconhecer e identificar, em esquemas e fotografias de células em divisão, as principais fases da meiose: prófases I e II, metáfases I e II, anáfases I e II e telófases I e II.

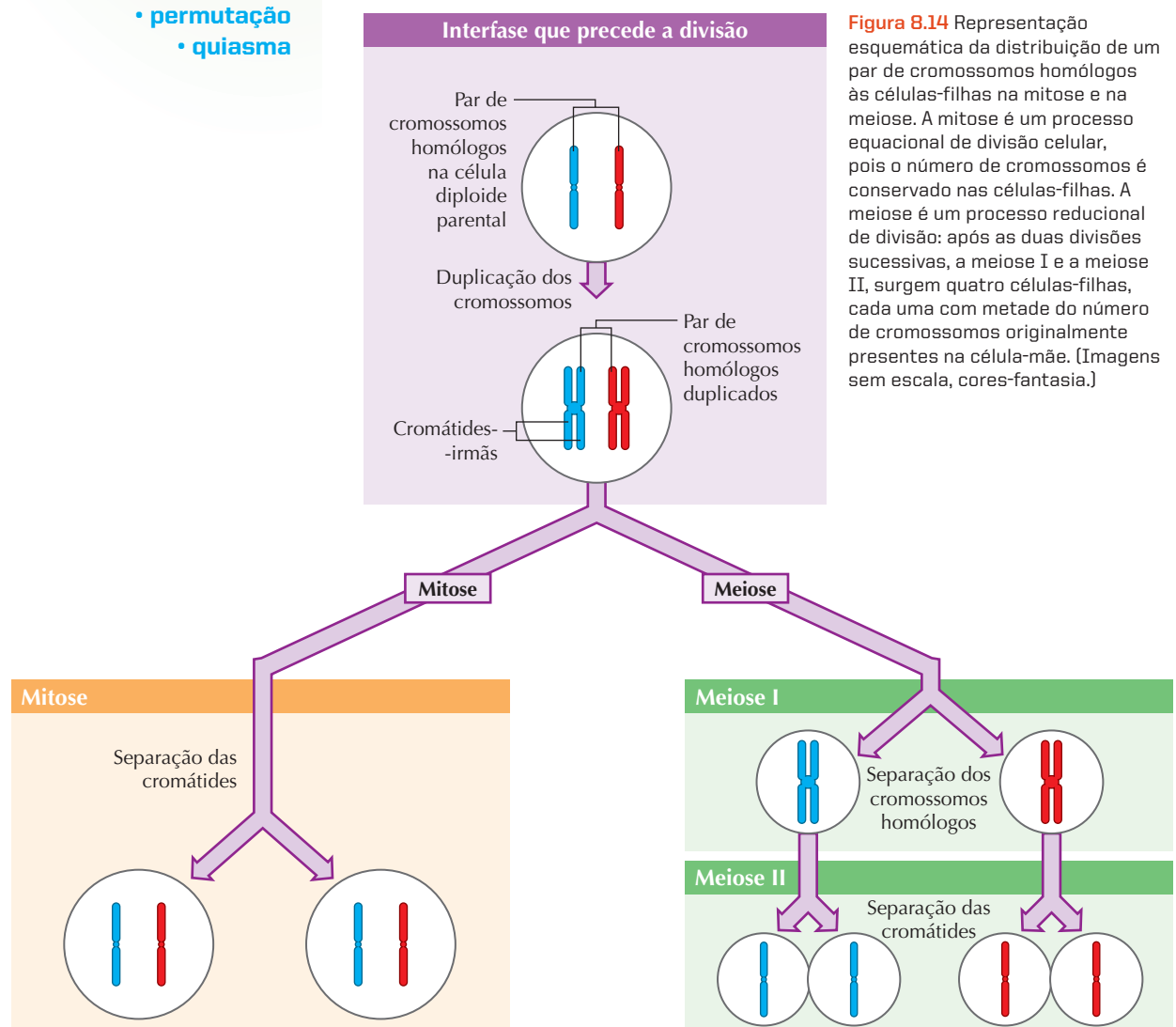
» Conceitos principais

- meiose
- sinapse cromossômica
- permutação
- quiasma

O termo **meiose** deriva da palavra grega *meiosis*, que significa diminuição, e refere-se ao fato de essa divisão levar à redução, pela metade, do número de cromossomos nas células-filhas. O número cromossômico é reduzido na meiose devido à ocorrência de uma única duplicação de cromossomos seguida de duas divisões nucleares: a **meiose I** e a **meiose II**. Na meiose, a partir de uma célula, formam-se quatro células-filhas, cada uma com metade do número de cromossomos originalmente presente na célula-mãe. (Fig. 8.14)

Tanto a meiose I como a meiose II são divididas em quatro fases, nas quais ocorrem eventos semelhantes aos da mitose; por isso, elas recebem os mesmos nomes. A meiose I é dividida em prófase I, metáfase I, anáfase I e telófase I, e a meiose II em prófase II, metáfase II, anáfase II e telófase II.

Nas prófases I e II, ocorre condensação dos cromossomos; nas metáfases I e II, eles se ligam aos microtúbulos do fuso e se dispõem na região equatorial da célula; nas anáfases I e II, os cromossomos migram para polos opostos da célula; nas telófases I e II, eles se descondensam e formam núcleos-filhos.



Prófase I

A prófase I é longa e complexa e, por isso, foi subdividida em cinco subfases: leptóteno, zigóteno, paquíteno, diplóteno e diacinese.

Leptóteno: visualização dos cromômeros

No **leptóteno** (do grego *leptos*, fino, delgado), tem início a condensação dos cromossomos. Eles tornam-se visíveis ao microscópio óptico como fios longos e finos, pontilhados de grânulos denominados **cromômeros**, nos quais o grau de condensação é maior que no resto do filamento cromossômico.

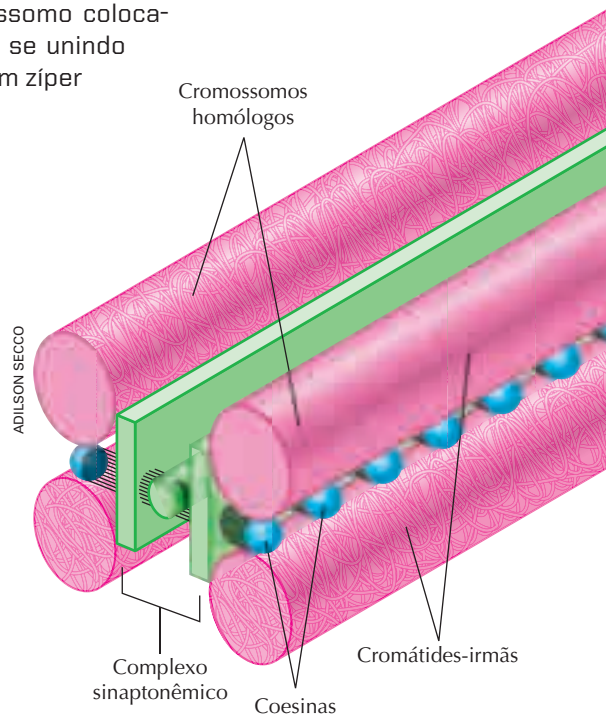
Apesar de estar duplicado e, portanto, constituído por duas cromátides-irmãs, cada cromossomo aparece ao microscópio como um fio simples. A razão disso é que as cromátides-irmãs ainda estão pouco condensadas e intimamente unidas por meio de proteínas denominadas coesinas.

Zigóteno: emparelhamento cromossômico

A subfase que sucede o leptóteno denomina-se **zigóteno** (do grego *zygon*, ligação, emparelhamento), pois nela ocorre o emparelhamento (ou pareamento) dos cromossomos homólogos, fenômeno chamado de **sinapse cromossômica** (do grego *synapsis*, unir). Nesse processo, cada cromossomo coloca-se ao lado de seu homólogo e o par cromossômico vai se unindo intimamente ao longo de todo seu comprimento, como um zíper sendo fechado.

Apesar de ainda não se compreender inteiramente o mecanismo de emparelhamento dos cromossomos homólogos, sabe-se que ele envolve a formação de uma estrutura proteica chamada de **complexo sinaptonêmico**. As proteínas do complexo formam um eixo central e duas barras laterais às quais se associam os cromossomos homólogos, unindo-os. (Fig. 8.15)

Figura 8.15 Representação esquemática de um segmento do complexo sinaptonêmico entre cromossomos homólogos. Esse complexo é constituído por um eixo central e duas barras laterais às quais se associam os cromossomos homólogos, cada um com suas duas cromátides. (Imagem sem escala, cores-fantasia.)



Paquíteno: formação dos bivalentes

No **paquíteno** (do grego *pachys*, espesso, grosso), os cromossomos continuam a se condensar e já estão completamente emparelhados. Cada par de cromossomos homólogos forma um conjunto denominado **bivalente**, ou tétrade. O termo bivalente (do prefixo latino *bis*, dois) refere-se ao fato de haver dois cromossomos homólogos emparelhados, e o termo tétrade (do grego *tetra*, quatro), por sua vez, refere-se ao fato de haver quatro cromátides no conjunto, pois cada cromossomo está duplicado, embora isso ainda seja dificilmente observável ao microscópio.

Na fase de paquíteno (ou ainda no final da fase de zigóteno), ocorrem quebras nas cromátides de cromossomos homólogos emparelhados, logo seguidas por soldaduras de reparação. Entretanto, a soldadura dos fragmentos cromossômicos muitas vezes dá-se em posição trocada: uma cromátide se solda ao fragmento de sua homóloga e vice-versa. Esse fenômeno leva à troca de pedaços entre cromossomos homólogos e é chamado de **permutação**, ou **crossing-over**. (Fig. 8.16)

A permutação tem importante significado biológico, pois a troca de fragmentos entre cromátides homólogas aumenta as misturas genéticas, levando a uma maior variedade de gametas formados por um indivíduo.

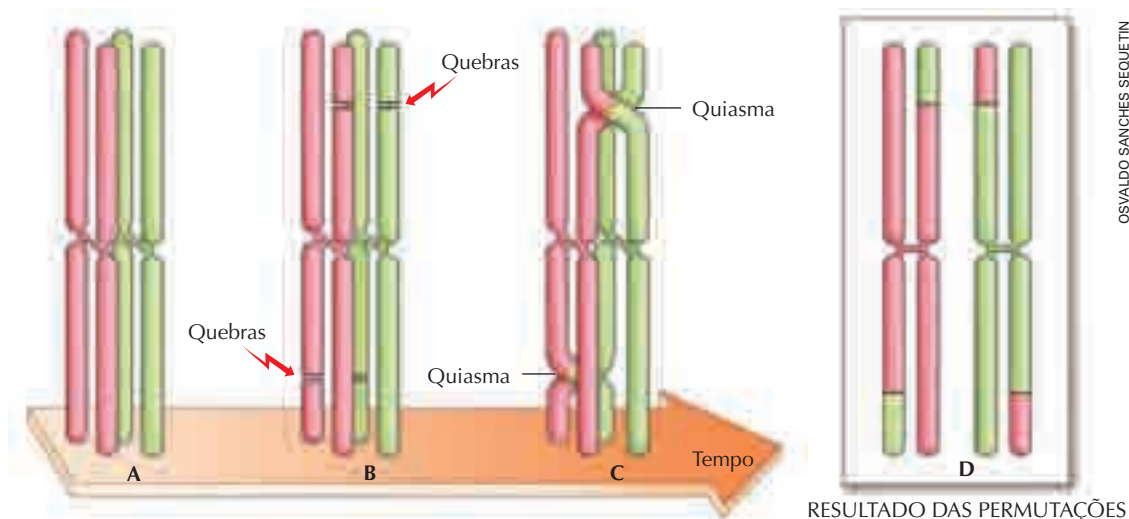


Figura 8.16 Representação esquemática da permutação entre cromossomos homólogos. Dois cromossomos homólogos emparelhados (A) sofrem quebras em suas cromátides (B). Em seguida, as quebras são reparadas, mas o fragmento de uma cromátide pode soldar-se ao de sua homóloga e vice-versa, originando quiasmas (C). Em D, os cromossomos estão representados lado a lado, no plano, para mostrar o resultado das permutações. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)

Diplóteno: visualização dos quiasmas

A fase de **diplóteno** (do grego *diploos*, duplo) recebe esse nome porque cada um dos cromossomos homólogos, que agora começam a se separar, pode ser reconhecido como constituído por duas cromátides. A separação dos cromossomos homólogos ocorre porque o complexo sinaptonêmico, que os mantinha unidos, desorganiza-se nessa fase da prófase I. As cromátides-irmãs, entretanto, continuam presas entre si por meio das coesinas.

Com a separação dos cromossomos homólogos, pode-se perceber que suas cromátides se cruzam em determinados pontos, originando figuras chamadas de **quiasmas** (do grego *chiasma*, cruzado, em forma de X). Os quiasmas surgem devido à permutação, que leva as cromátides de cromossomos homólogos a ficarem cruzadas.

Hoje, sabe-se que a ocorrência de pelo menos um quiasma por bivalente é essencial para manter os cromossomos homólogos unidos até o início da anáfase I, de modo que eles possam migrar corretamente para polos opostos. Mesmo os cromossomos sexuais, que praticamente não apresentam homologia entre si, permutam pedaços e formam quiasmas, que os mantêm unidos até a anáfase I.

Diacinese: terminalização dos quiasmas

A **diacinese** (do grego *dia*, através, e *cinesis*, movimento) recebe esse nome porque nessa etapa os cromossomos homólogos concluem seu movimento de separação, iniciado no diplóteno. Eles permanecem unidos apenas pelos quiasmas, que parecem deslizar para as extremidades dos bivalentes, fenômeno conhecido como **terminalização dos quiasmas**. Na diacinese, devido ao estado de avançada condensação cromossômica, os nucléolos desaparecem. Ao final dessa fase, a carioteca desintegra-se e os pares de homólogos, ainda associados pelos quiasmas, espalham-se no citoplasma, marcando o final da prófase I.

Metáfase I

A **metáfase I** é a fase em que os pares de cromossomos homólogos prendem-se ao fuso acromático, que se originou durante a prófase I, e dispõem-se na região equatorial da célula. Entretanto, há uma diferença fundamental entre a metáfase da meiose I e a metáfase da mitose. Nesta última, cada cromossomo duplicado prende-se a microtúbulos de ambos os polos, de modo que suas cromátides-irmãs ficam unidas a polos opostos da célula. Na metáfase da meiose I, por outro lado, cada cromossomo duplicado prende-se a microtúbulos provenientes de apenas um dos polos, enquanto seu homólogo prende-se a microtúbulos do polo oposto.

O encurtamento dos microtúbulos faz com que os cromossomos homólogos comecem a ser puxados para polos opostos da célula, mas eles não se separam imediatamente, pois os pedaços trocados na permutação ainda continuam unidos a suas cromátides originais por meio das coesinas.

Anáfase I

Na **anáfase I**, cada cromossomo de um par de homólogos, constituído por duas cromátides unidas pelo centrômero, é puxado para um dos polos da célula. Nessa fase, as coesinas são totalmente degradadas e os quiasmas desaparecem. (Fig. 8.17)

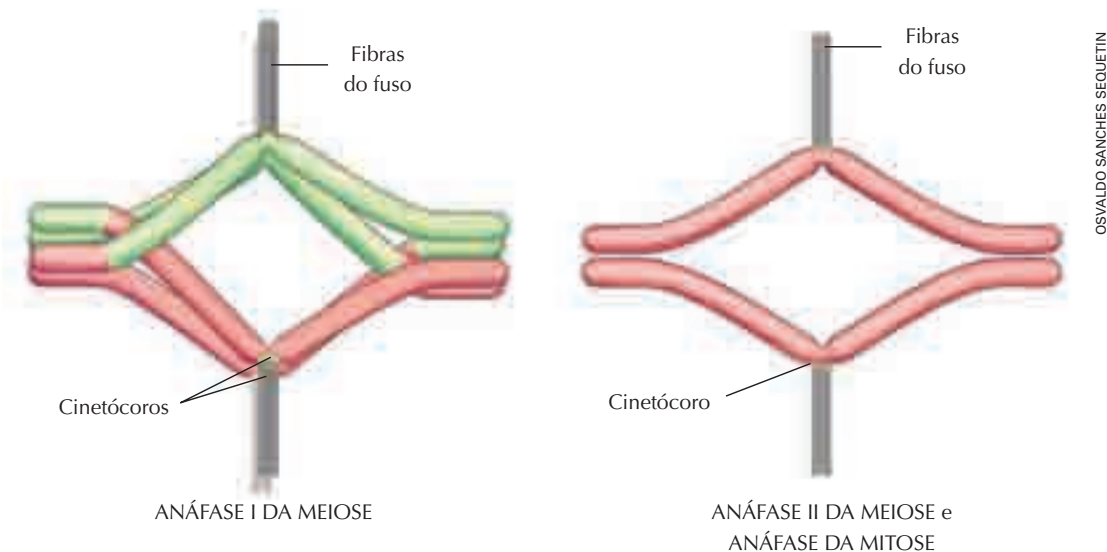


Figura 8.17 Representação esquemática da união dos microtúbulos do fuso aos cromossomos. Na anáfase I da meiose há separação de cromossomos homólogos duplicados. Na anáfase II da meiose e na anáfase da mitose há separação de cromátides-irmãs. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)

Telófase I

Na **telófase I**, os cromossomos, já separados em dois lotes, um em cada polo da célula, passam a se descondensar. O fuso acromático se desfaz, as cariotecas se reorganizam e os nucléolos reaparecem. Surgem, assim, dois novos núcleos, cada um deles com metade do número de cromossomos presente no núcleo original. Cada cromossomo, entretanto, ainda está constituído por duas cromátides unidas pelo centrômero.

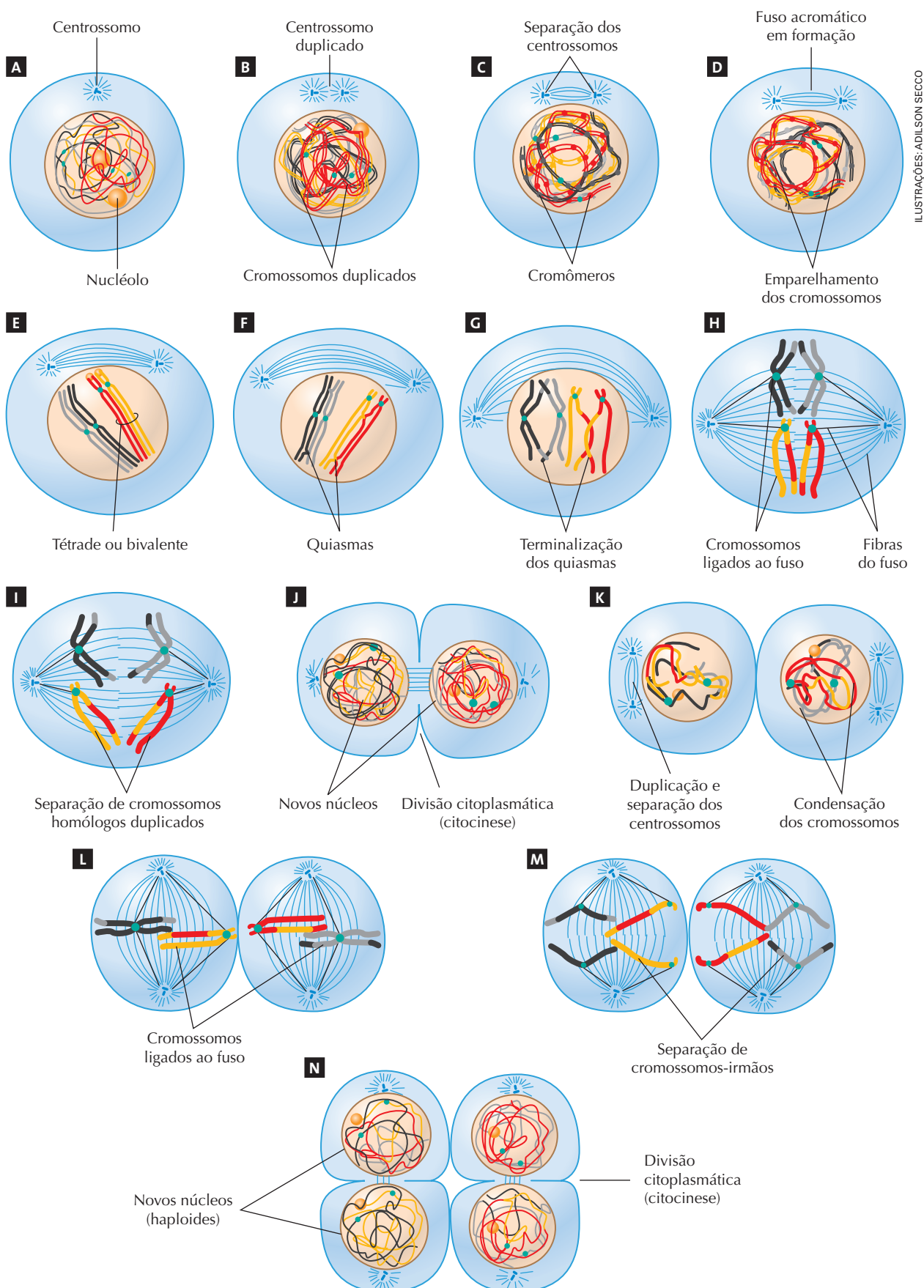
Citocinese I

Geralmente, logo após a primeira divisão meiótica se completar, ocorre a **citocinese I**, resultando na separação de duas células-filhas, que logo iniciam a meiose II. Durante o breve período entre a meiose I e a meiose II, os centrossomos se duplicam em cada uma das células-filhas recém-formadas.

Meiose II

A segunda divisão da meiose é muito semelhante à mitose. As duas células resultantes da meiose I entram simultaneamente em **prófase II**. Os cromossomos voltam a se condensar, tornando-se progressivamente mais curtos e grossos, e os nucléolos vão desaparecendo. Ao fim da prófase II, a carioteca fragmenta-se e os cromossomos espalham-se pelo citoplasma.

Na **metáfase II**, os cromossomos associam-se ao fuso acromático formado durante a prófase II, alinhando-se no plano equatorial da célula. Os microtúbulos do fuso puxam as cromátides-irmãs para polos opostos, como na mitose, marcando o início da **anáfase II**. Quando os cromossomos-irmãos chegam aos polos da célula, termina a anáfase e tem início a **telófase II**. Nessa fase, os cromossomos se descondensam, os nucléolos reaparecem e as cariotecas se reorganizam, completando, assim, a segunda divisão meiótica. Em seguida, o citoplasma se divide (citocinese II) e surgem duas células-filhas para cada célula que passou pela segunda divisão da meiose. (Figs. 8.18 e 8.19)



Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Figura 8.18 Representação esquemática das fases da meiose. **A.** Interfase (G1). **B.** Interfase (G2). **C.** Prófase I (leptóteno). **D.** Prófase I (zigóteno). **E.** Prófase I (paquíteno). **F.** Prófase I (diplóteno). **G.** Prófase I (diacinese). **H.** Metáfase I. **I.** Anáfase I. **J.** Telófase I. **K.** Prófase II. **L.** Metáfase II. **M.** Anáfase II. **N.** Telófase II. [Imagens sem escala, cores-fantasia.]

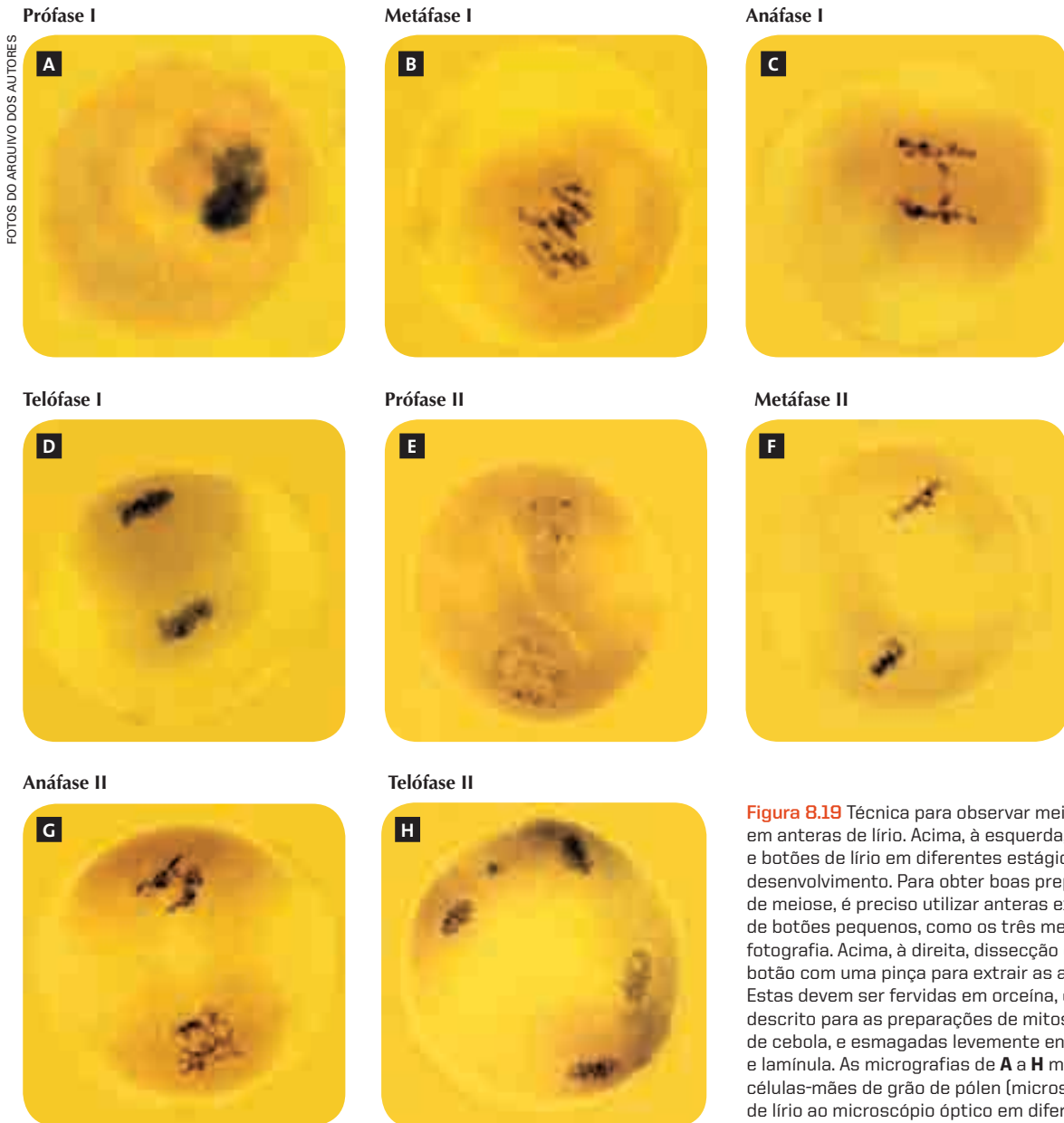


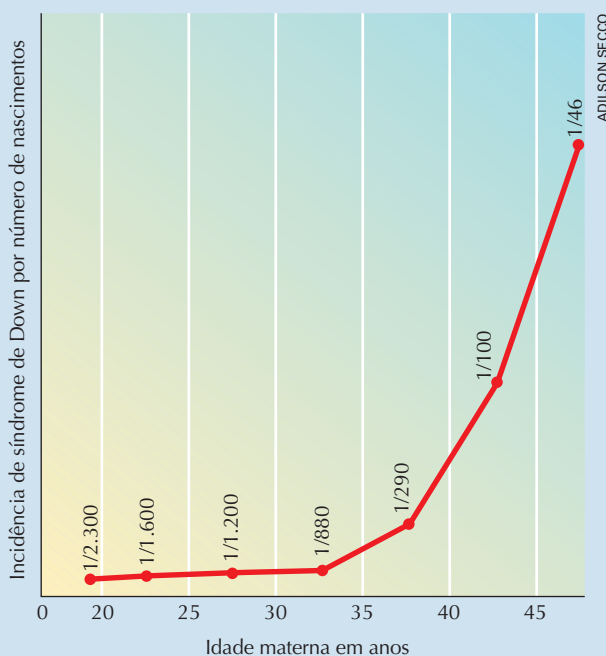
Figura 8.19 Técnica para observar meiose em anteras de lírio. Acima, à esquerda, flores e botões de lírio em diferentes estágios de desenvolvimento. Para obter boas preparações de meiose, é preciso utilizar anteras extraídas de botões pequenos, como os três menores da fotografia. Acima, à direita, dissecação de um botão com uma pinça para extrair as anteras. Estas devem ser fervidas em orceína, como foi descrito para as preparações de mitose em raiz de cebola, e esmagadas levemente entre lâmina e laminula. As micrografias de **A a H** mostram células-mães de grão de pólen (microsporócitos) de lírio ao microscópio óptico em diferentes estágios da meiose (aumento $\approx 2.700\times$).

A etapa do ciclo de vida em que a meiose ocorre varia nos diferentes organismos. Nos animais, por exemplo, a meiose ocorre nas gônadas para formação dos gametas, sendo por isso chamada de **meiose gamética**. Em algumas espécies de fungos, protozoários e algas, a meiose ocorre imediatamente após a formação do zigoto, sendo denominada **meiose zigótica**. Em certas algas e em todas as plantas, ocorre meiose em indivíduos diploides originando esporos haploides. Por isso fala-se em **meiose espórica**.

- 1 Na meiose, assim como na mitose, também pode ocorrer não disjunção cromossômica, isto é, cromossomos que deveriam separar-se migram juntos para o mesmo polo celular. Se a não disjunção ocorrer na meiose I, uma das células receberá os dois cromossomos homólogos que não se separaram. Se a não disjunção ocorrer na meiose II, uma das células receberá dois cromossomos-irmãos que não se separaram.
- 2 O resultado de não disjunções na meiose é a produção de gametas com falta ou excesso de cromossomos. Quando um gameta com um cromossomo a mais ou a menos se une por fecundação a um gameta normal, o zigoto que surge é portador de uma alteração no número de cromossomos. Na espécie humana, a maior parte das alterações no número cromossômico causa a morte ainda na fase de embrião, mas, dependendo dos cromossomos afetados, algumas alterações cromossômicas são compatíveis com a vida. Exemplos disso são as síndromes de Down, de Turner e de Klinefelter (relembre no capítulo 7).

Figura 8.20 Gráfico que mostra a relação entre a idade materna e a geração de crianças com síndrome de Down. As frações em cada ponto do gráfico correspondem às frequências de nascimentos de portadores da síndrome. (Adaptado de Peronse, L. S. e col., 1966.)

- 3 Um aspecto importante a ser considerado é que a frequência de não disjunções cromossômicas durante a meiose aumenta drasticamente em mulheres com mais de 35 anos de idade. Isso eleva o risco de serem geradas crianças portadoras de alterações cromossômicas. Mulheres com idade superior a 35 anos que queiram engravidar devem procurar um serviço de aconselhamento genético, para se inteirar dos riscos de virem a ter crianças portadoras de síndromes causadas por não disjunções cromossômicas. (**Fig. 8.20**)



GUIA DE LEITURA

1. Leia o primeiro parágrafo do quadro. Certifique-se de ter compreendido o que é não disjunção cromossômica. Para operacionalizar esse conceito, represente esquematicamente a divisão meiótica de uma célula com $2n = 4$. Represente a célula na metáfase I, com os cromossomos organizados em duas tétrades. Escolha uma delas e desenhe a fibra apenas de um dos polos; isso simulará a não disjunção de um par de homólogos. Prossiga a meiose normalmente, que resulta em quatro células haploides, uma delas deficiente em um dos tipos cromossômicos e a outra com esse cromossomo em dose dupla. Desenhe, a seguir, a meiose com a não disjunção cromossômica ocorrendo na divisão II da meiose.
2. O segundo parágrafo comenta os resultados das não disjunções cromossômicas que ocorrem na meiose humana. Quais são eles?
3. Leia o terceiro e último parágrafo do quadro, que se refere ao aumento da frequência de não disjunções cromossômicas à medida que aumenta a idade

da mulher. Uma das hipóteses para isso é que as células germinativas femininas iniciam a meiose simultaneamente na fase embrionária de vida da mulher e, a cada ciclo menstrual, uma das células germinativas é ativada e prossegue a meiose. Em outras palavras, em uma gravidez tardia a célula que originou o óvulo estava há muito tempo estacionada em prófase I da meiose, o que parece aumentar a probabilidade de ocorrerem não disjunções cromossômicas.

4. Analise o gráfico da **Figura 8.20**, note inicialmente a curva vermelha, que se acentua exponencialmente. Confira o que indicam as ordenadas e abscissas. Interrompa agora a análise do gráfico e leia a legenda da figura. Volte ao gráfico à medida que lê, complementando informações. Calcule: em quantas vezes aumenta a chance de uma mulher com mais de 45 anos ter uma criança portadora de síndrome de Down, em relação a uma mulher de 20 anos?

QUESTÕES PARA PENSAR E DISCUTIR

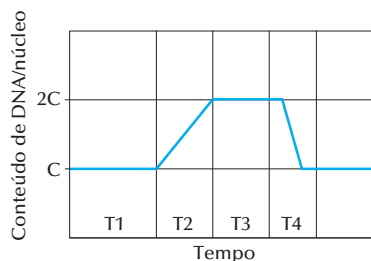
Questões objetivas

Considere as alternativas a seguir para responder às questões de 1 a 6.

- | | |
|-------------------|----------------|
| a) Ciclo celular. | d) Período G1. |
| b) Interfase. | e) Período G2. |
| c) Período G0. | f) Período S. |

1. Como se denomina o período que se inicia com o surgimento de uma célula por divisão e se encerra com a divisão dessa célula formando duas células-filhas?
2. Que etapa da vida da célula antecede a duplicação dos cromossomos?
3. Qual é a etapa da vida da célula compreendida entre o final da duplicação dos cromossomos e o início da divisão celular?
4. Em qual etapa a célula está duplicando seus cromossomos?
5. Que nome recebe a fase em que a célula não está se dividindo?
6. Em que fase se encontra uma célula que, em condições normais, não vai mais se dividir?

O gráfico a seguir representa a variação do conteúdo de DNA por núcleo no decorrer do ciclo celular de um organismo. Utilize as siglas T1, T2, T3 e T4, que representam intervalos do ciclo celular, para responder às questões de 7 a 14.



7. Quando ocorre a migração dos cromossomos para polos opostos da célula?
8. Quando ocorre a duplicação dos cromossomos?
9. Em que momento do ciclo os cromossomos estão constituídos por duas cromátides totalmente formadas?
10. Qual momento do ciclo celular corresponde a G1?
11. Qual momento do ciclo celular corresponde a S?
12. Qual momento do ciclo celular corresponde a G2?
13. Qual é a melhor fase do ciclo celular para estudar o cariótipo da célula?
14. No gráfico, a que intervalo de tempo corresponde o período denominado interfase?

a) T1 apenas.	c) T1, T2 e T3, apenas.
b) T1 e T2, apenas.	d) T1, T2, T3 e T4.

Considere as alternativas a seguir para responder às questões de 15 a 22.

- | | |
|------------------|----------------------|
| a) Anáfase. | e) Metáfase. |
| b) Citocinese. | f) Placa metafásica. |
| c) Colchicina. | g) Prófase. |
| d) Fragmoplasto. | h) Telófase. |

15. Em qual etapa da divisão celular os cromossomos iniciam a condensação?
16. Em qual etapa da divisão celular os cromossomos estão sendo puxados para os polos da célula?
17. Qual das alternativas refere-se a uma droga utilizada para bloquear a divisão celular e que permite observar cromossomos e determinar o cariótipo?
18. Qual é o nome dado ao conjunto de cromossomos dispostos na região equatorial da célula?
19. Como se denomina o conjunto de microtúbulos presentes na região mediana de uma célula vegetal em final de divisão e que orienta a formação da placa celular responsável pela divisão do citoplasma?
20. Como se denomina a etapa da divisão celular em que os cromossomos estão arranjados na região equatorial da célula?
21. Qual é a etapa final da divisão celular, na qual os núcleos se reorganizam?
22. Como se chama o processo que ocorre após a divisão do núcleo celular e que divide a célula em duas?

Considere as alternativas a seguir para responder às questões de 23 a 26.

- | |
|----------------------------------|
| a) Bivalente, ou tétrade. |
| b) Complexo sinaptonêmico. |
| c) Quiasma. |
| d) Permutação, ou crossing-over. |

23. Como se denomina a estrutura em forma de X, observada nos cromossomos homólogos durante o início da meiose e que resulta da troca de pedaços entre cromátides?
 24. Que nome recebe a troca de pedaços entre cromátides homólogos que ocorre na meiose?
 25. Qual é a estrutura responsável pelo emparelhamento dos cromossomos homólogos na meiose?
 26. Na meiose, como se denomina um par de cromossomos homólogos perfeitamente emparelhados?
- Considere as alternativas a seguir, que apresentam fases da meiose, para responder às questões de 27 a 31.
- | | |
|---------------|---------------|
| a) Diacinese. | d) Paquíteno. |
| b) Diplóteno. | e) Zigóteno. |
| c) Leptóteno. | |
27. Em que fase os cromossomos começam a se condensar e aparecem os cromômeros?
 28. Em que fase ocorre o emparelhamento dos cromossomos homólogos?
 29. Em que fase ocorrem trocas de pedaços entre cromátides homólogos?
 30. Qual é a fase caracterizada pela visualização dos quiasmas?

31. Em que fase os quiasmas parecem deslizar para as extremidades cromossômicas?
32. Qual das fases da mitose pode ser vista como o oposto da prófase, considerando as alterações pelas quais passa o núcleo celular?
 - a) Anáfase.
 - b) Interfase.
 - c) Metáfase.
 - d) Telófase.
33. A droga vinblastina é um quimioterápico usado no tratamento de pacientes com câncer. Tendo em vista que essa droga impede a formação de microtúbulos, sua interferência no processo de multiplicação celular será na
 - a) condensação dos cromossomos.
 - b) descondensação dos cromossomos.
 - c) duplicação dos cromossomos.
 - d) migração dos cromossomos.
34. A divisão mitótica de uma célula humana ($2n = 46$) produz
 - a) duas células com 23 cromossomos cada.
 - b) duas células com 46 cromossomos cada.
 - c) quatro células com 23 cromossomos cada.
 - d) quatro células com 46 cromossomos cada.
35. Quantas cromátides estarão presentes em cada núcleo de células humanas, na prófase e na telófase da mitose, respectivamente?

	Núcleo em prófase	Núcleo em telófase
a)	46 cromátides	23 cromátides
b)	46 cromátides	46 cromátides
c)	92 cromátides	46 cromátides
d)	92 cromátides	92 cromátides

Considere as alternativas a seguir para responder às questões 36 e 37.

- a) Mitose, apenas.
 - b) Meiose I, apenas.
 - c) Meiose I e meiose II, apenas.
 - d) Mitose e meiose II.
36. Em que processo os cromossomos homólogos migram para polos opostos da célula?
 37. Em que processo as cromátides-irmãs migram para polos opostos da célula?

Considere as alternativas a seguir para responder às questões 38 e 39.

 - a) Células haploides, apenas.
 - b) Células diploides, apenas.
 - c) Células haploides e células diploides.
 - d) Células procarióticas e células eucarióticas.
 38. Em que tipo de células ocorre mitose?
 39. Em que tipo de células ocorre meiose?

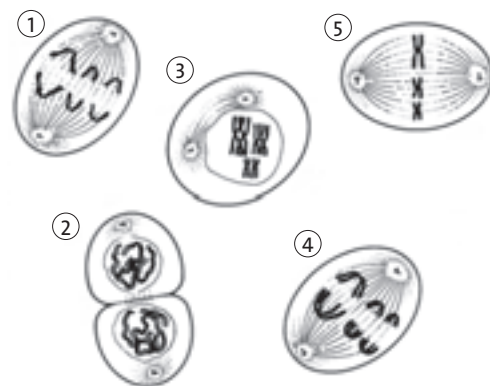
Considere as alternativas a seguir para responder às questões de 40 a 44.

 - a) Cromossomos emparelhados dentro do núcleo mostrando cruzamento entre cromátides homólogos.
 - b) Cromossomos constituídos por duas cromátides sendo puxados para os polos da célula.
 - c) Cromossomos constituídos por uma única cromátide sendo puxados para os polos da célula.

- d) Cromossomos homólogos presos por quiasmas dispostos na região mediana do fuso acromático.
40. Qual das alternativas refere-se a um evento que ocorre na prófase I da meiose?
41. Qual das alternativas refere-se a um evento que ocorre na metáfase I da meiose?
42. Qual das alternativas refere-se a um evento que ocorre na anáfase I da meiose?
43. Qual das alternativas refere-se a um evento que ocorre na anáfase II da meiose?
44. Qual das alternativas refere-se a um evento que ocorre na mitose e na meiose?

Questões discursivas

45. Considerando que uma hemácia humana vive cerca de 120 dias e que uma pessoa adulta tem, em média, cerca de 5 milhões de hemácias por mm^3 de sangue e cerca de 5 L de sangue no corpo, calcule: quantas hemácias devem ser produzidas a cada segundo para substituir as que são constantemente perdidas?
46. Um pesquisador desenhou células de um animal em diversas fases do processo de meiose. A partir desses desenhos, mostrados a seguir, identifique a fase em que se encontra cada uma das células (1 a 5) e explique como chegou à conclusão.



OSVALDO SANCHES SEQUETIN

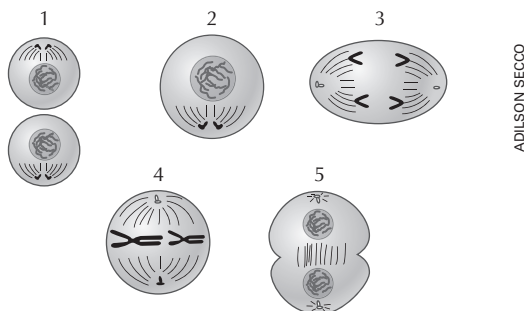
VESTIBULARES PELO BRASIL

Questões objetivas

1. (UFPA) O período que precede a mitose é denominado de interfase. Nessa fase ocorre a duplicação do DNA, evento que garante a transmissão das informações existentes na célula original para cada uma das células-filhas. A duplicação do DNA origina a formação de pares de
 - a) cromátides-irmãs presas uma à outra pelo centrômero.
 - b) cromossomos homólogos ligados pelos quiasmas.
 - c) nucléolos portadores de genes alelos.
 - d) cromossomos duplos, cada um com uma cromátide.
 - e) cromatinas diploides dispersas no nucléolo.

2. (Ufac) A mitose é um processo de divisão celular contínuo, durante o qual a célula passa por profundas transformações, que culminam com sua divisão em duas células-filhas. Algumas drogas, como a colchicina, têm sido muito usadas nos estudos sobre os cromossomos, devido à propriedade de paralisar a mitose em uma de suas quatro etapas principais. Mediante tais informações, determine a alternativa que indica a etapa da mitose em que a célula é paralisada pela ação da colchicina.
- interfase
 - prófase
 - metáfase
 - anáfase
 - telófase
3. (UFPA) De um casal normal nasceu o primeiro filho com cariótipo $2n \ 5 \ 47, \text{XYY}$ (síndrome do duplo Y). Podemos inferir que o cromossomo Y extra foi decorrente de erro na
- meiose I da mãe.
 - meiose II da mãe.
 - meiose II do pai.
 - meiose I do pai.
 - não dá para inferir onde o erro ocorreu.

4. (UFPE) Na figura abaixo, estão ilustradas cinco fases de um processo de divisão mitótica em tecido animal. Considerando a normalidade do processo, determine a alternativa que indica a sequência correta em que essas fases ocorrem.

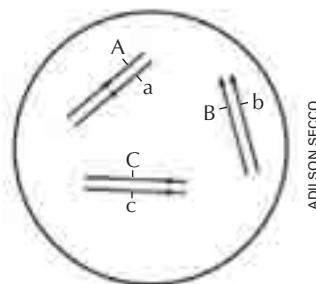


Está correta a sequência:

- 1, 5, 2, 4 e 3
 - 2, 4, 3, 5 e 1
 - 5, 1, 4, 3 e 2
 - 1, 2, 3, 4 e 5
 - 1, 5, 4, 3 e 2
5. (Unifor-CE) "Forma-se o fuso e os cromossomos homólogos duplicados e emparelhados dispõem-se na região equatorial dessa estrutura, ficando os componentes de cada par voltados para polos opostos." Essa descrição é válida
- somente para a metáfase I da meiose.
 - somente para a metáfase da mitose.
 - somente para a metáfase II da meiose.
 - tanto para a metáfase da mitose como para a metáfase I da meiose.
 - tanto para a metáfase da mitose como para a metáfase II da meiose.
6. (Fuvest-SP) No processo de divisão celular, por mitose, chamamos de célula-mãe aquela que entra em divisão e de células-filhas as que se formam como resultado do processo.

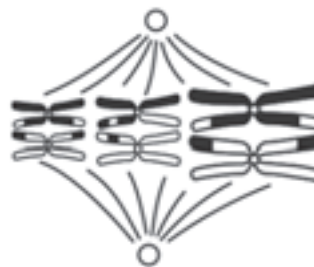
Ao final da mitose de uma célula, têm-se

- duas células, cada uma portadora de metade do material genético que a célula-mãe recebeu de sua genitora e a outra metade, recém-sintetizada.
 - duas células, uma delas com material genético que a célula-mãe recebeu de sua genitora e a outra célula com material genético recém-sintetizado.
 - três células, ou seja, a célula-mãe e duas células-filhas, estas últimas com metade do material genético que a célula-mãe recebeu de sua genitora e a outra metade, recém-sintetizada.
 - três células, ou seja, a célula-mãe e duas células-filhas, estas últimas contendo material genético recém-sintetizado.
 - quatro células, duas com material genético recém-sintetizado e duas com material genético que a célula-mãe recebeu de sua genitora.
7. (UFSCar-SP) Sessenta células de um animal, com a constituição representada na figura, sofrem meiose.



São esperados, apresentando a constituição ABC,

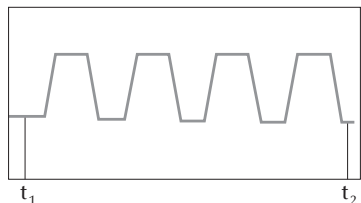
- 30 espermatozoides.
 - 60 espermatozoides.
 - 90 espermatozoides.
 - 120 espermatozoides.
 - 180 espermatozoides.
8. (UFBA) A ilustração a seguir reproduz esquematicamente um momento num processo de meiose.



Espera-se que, a seguir, ocorra:

- duplicação dos centríolos.
 - desaparecimento da carioteca.
 - pareamento dos cromossomos homólogos.
 - permuta entre cromátides.
 - separação dos cromossomos homólogos.
9. (UCB-DF) O gráfico a seguir representa a quantidade de DNA por célula em função do tempo, em um grupo de células embrionárias cultivadas *in vitro*. Partindo-se de uma única célula do início do processo mitótico em (t_1), no instante t_2 , qual será o número de ciclos celulares completados e o número de células-filhas, respectivamente?

ADILSON SECCO

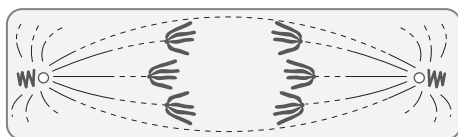


- a) 1 e 2 c) 4 e 8 e) 16 e 32
b) 2 e 4 d) 4 e 16

10. (UCG-GO-Adaptado) Avalie se a afirmação é verdadeira ou falsa.

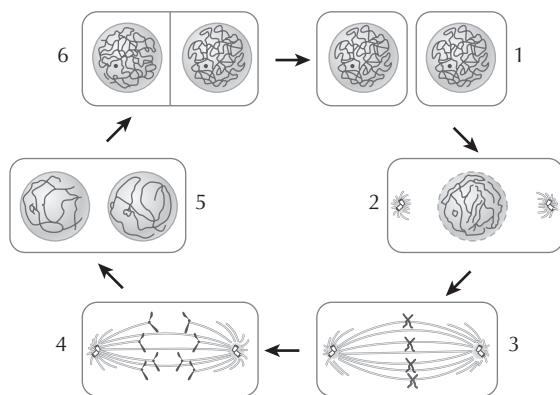
Considerando uma célula com 6 cromossomos ($2n = 6$) e que esteja em divisão, o esquema abaixo representa uma anáfase I da meiose.

ADILSON SECCO



11. (Unioeste-PR) O desenho abaixo representa um ciclo celular mitótico.

ADILSON SECCO



Relativo ao ciclo acima, analise as alternativas e determine a(s) correta(s). [Dê como resposta a soma dos números associados a proposições corretas.]

- 01) Em 1 ocorrem a duplicação do DNA, a transcrição e a síntese proteica.
02) Em 2 ocorrem o *crossing-over* e o paquíteno.
04) Em 3 o DNA não se encontra enrolado ao redor das histonas, mas exclusivamente ao redor de um esqueleto proteico.
08) Em 4 ocorre a separação dos cromossomos homólogos para polos opostos.
16) Em 5 os cromossomos encontram-se com 2 cromátides cada um.
32) 6 representa a fase em que ocorre a citocinese.
64) A partir da célula diploide com 4 cromossomos, são formadas 2 células com 2 cromossomos cada.
12. (UEPG-PR) A respeito da mitose, um dos processos fundamentais da divisão celular, em que uma célula se divide, originando duas células-filhas exatamente iguais à célula inicial no que toca à qualidade e à quantidade de material genético, determine o que for correto. [Dê como resposta a soma dos números associados a proposições corretas.]

01) Quando se estuda a mitose em células vegetais, percebem-se diferenças em relação ao processo que ocorre nas células animais. Inicialmente, não há centríolos nem ásteres; mesmo assim, ocorre a formação das fibras do fuso.

02) A mitose é um processo contínuo de divisão celular em que ocorre uma duplicação cromossômica para cada divisão celular. Assim, o número e a qualidade dos cromossomos da célula-mãe são mantidos nas células-filhas. A mitose se divide nas seguintes fases ou etapas: prófase, metáfase, anáfase e telófase.

04) A mitose permite que os organismos pluricelulares cresçam, por meio do aumento do número de células, e substituam células mortas. Assim, as células da nossa pele, de um embrião em desenvolvimento e das pontas das raízes e caules estão em constante mitose.

08) A divisão do citoplasma da célula vegetal não se processa por estrangulamento, como na célula animal. Em vez disso, aparece no equador da célula um esboço de parede, a lamela média, constituída por um polissacarídeo, a pectina. Mais tarde, formam-se duas membranas celulares, de um lado e do outro da lamela média.

13. (UFSC) Um pesquisador verificou que o núcleo celular dos óvulos de uma certa espécie de formiga tem 4 cromossomos e uma quantidade x de DNA. Considerando-se que os machos de formiga desenvolvem-se por partenogênese e são haploides, que quantidade de DNA e de cromossomos se espera encontrar no núcleo dos espermatozoides dessa espécie?

- a) $2x$ de DNA e 8 cromossomos.
b) $2x$ de DNA e 4 cromossomos.
c) x de DNA e 4 cromossomos.
d) x de DNA e 2 cromossomos.
e) $\frac{1}{2}x$ de DNA e 2 cromossomos.

14. (Unioeste-PR) Considere as associações abaixo sobre as fases da meiose e suas características.

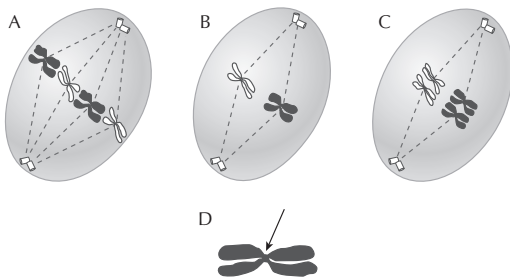
	Fases	Características
I.	Anáfase I	Cromossomos duplicados nos polos da célula com divisão dos centrômeros.
II.	Prófase I	Permuta gênica entre cromossomos homólogos.
III.	Metáfase I	Os cromossomos permanecem unidos pelos quiasmas.
IV.	Telófase	Os cromossomos encontram-se nos polos e duplicados.
V.	Metáfase II	Cromossomos não alinhados no equador da célula e não permutados.
VI.	Telófase II	Cada uma das células formadas apresenta cromossomos não duplicados e geneticamente diferentes.

Determine a alternativa cujas associações estão todas corretas.

- | | |
|----------------|--------------|
| a) II, V, VI | d) I, III, V |
| b) II, IV, VI | e) I, V, VI |
| c) II, III, VI | |

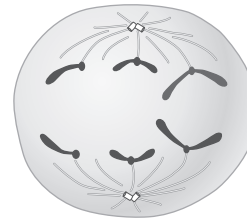
Questões discursivas

15. (Unicamp-SP) A colchicina é uma substância de origem vegetal, muito utilizada em preparações citogenéticas para interromper as divisões celulares. Sua atuação consiste em impedir a organização dos microtúbulos.
 - a) Em que fase a divisão celular é interrompida com a colchicina? Explique.
 - b) Se, em lugar de colchicina, fosse aplicado um inibidor de síntese de DNA, em que fase ocorreria a interrupção?
16. (Fuvest-SP) Considere os processos de mitose e meiose.
 - a) Qual o número de cromossomos das células originadas, respectivamente, pelos dois processos na espécie humana?
 - b) Qual a importância biológica da meiose?
17. (Fuvest-SP) Uma célula somática, em início de interfase, com quantidade de DNA nuclear igual a x , foi colocada em cultura para multiplicar-se. Considere que todas as células resultantes se duplicaram sincronicamente e que não houve morte celular.
 - a) Indique a quantidade total de DNA nuclear ao final da 1ª, da 2ª e da 3ª divisões mitóticas.
 - b) Indique a quantidade de DNA por célula na fase inicial de cada mitose.
18. (Unicamp-SP) Os esquemas A, B e C abaixo representam fases do ciclo de uma célula que possui $2n = 4$ cromossomos.



- a) A que fases correspondem as figuras A, B e C? Justifique.
 - b) Qual é a função da estrutura cromossômica indicada pela seta na figura D?
19. (Fuvest-SP) Suponha que na espermatogênese de um homem ocorra não disjunção dos cromossomos sexuais na primeira divisão da meiose, isto é, que os cromossomos X e Y migrem juntos para um mesmo polo da célula. Admitindo que a meiose continue normalmente,
 - a) Qual será a constituição cromossômica dos espermatozoides formados nessa meiose, no que se refere aos cromossomos sexuais?
 - b) Quais serão as possíveis constituições cromossômicas de crianças geradas pelos espermatozoides produzidos nessa meiose, no caso de eles fecundarem óvulos normais?

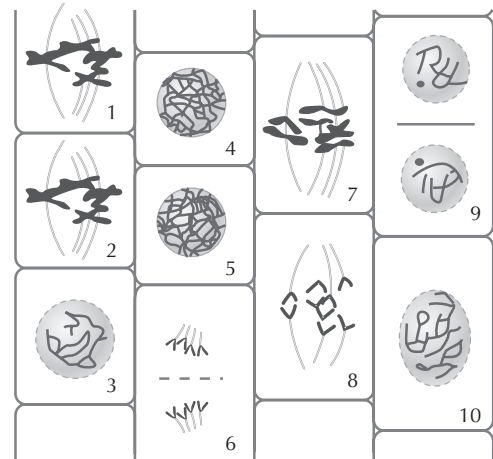
20. (Unesp) A figura representa uma anáfase de uma célula diploide animal.



Essa célula está em mitose ou em meiose? Justifique, informando o número diploide de cromossomos em uma célula somática desse animal.

21. (Unicamp-SP) A síndrome de Down, também chamada trissomia do cromossomo 21, afeta cerca de 0,2% dos recém-nascidos. A síndrome é causada pela presença de um cromossomo 21 a mais nas células dos afetados, isto é, em vez de dois cromossomos 21, a pessoa tem três. A trissomia do cromossomo 21 é originada durante as anáfases I ou II da meiose.
 - a) Quando ocorre a meiose? Cite um evento que só ocorre na meiose.
 - b) Explique os processos que ocorrem na anáfase I e na anáfase II que levam à formação de células com três cromossomos 21.
22. (UFRJ) Ao analisar o cariótipo de células obtidas de uma criança com síndrome de Down, observou-se que 70% das células apresentavam 47 cromossomos, por exibirem a trissomia do cromossomo 21, e que 30% das células apresentavam um cariótipo normal, ou seja, 46 cromossomos, sem trissomia do 21.

Responda se o fenômeno da não disjunção do par de cromossomos 21 ocorreu antes ou depois da formação do zigoto. Justifique sua resposta.
23. (UFRRJ-Adaptado) A figura abaixo representa o esquema de um corte longitudinal da região de crescimento de uma raiz. As células dessa região sofrem mitoses sucessivas que garantem o crescimento do órgão.



Fonte: SUZUKI, D. T. (2002).

- a) Quais são as células que estão na interfase? Cite uma característica desta fase.
- b) Descreva o que ocorre com os cromossomos na fase esquematizada na célula número 7.
- c) Identifique em que figura está ocorrendo a citocinese e cite a principal característica desse tipo de citocinese.

Capítulo

9

Metabolismo energético

A unidade da atividade bioquímica dos seres vivos é a célula; entender como as células obtêm energia para a vida é o primeiro passo para compreender como os seres vivos mantêm-se vivos.

Neste capítulo estudaremos os fundamentos do metabolismo energético e os principais processos utilizados pelos seres vivos para obter energia: respiração aeróbia, fermentação, fotossíntese e quimiossíntese.

9.1 Energia para a vida

Os seres vivos realizam intensas e incessantes atividades de transformação química, que constituem o metabolismo. A energia metabólica é obtida a partir de substâncias orgânicas constituintes dos alimentos.

9.2 ATP, a “moeda energética” do mundo vivo

O ATP é uma substância que capta e armazena a energia liberada em certas reações celulares, transferindo-a para processos que demandam energia. Por isso, essa substância é considerada a “moeda energética” do metabolismo celular.

9.3 Respiração celular

A maioria dos seres vivos produz o ATP de que necessita pela respiração celular, processo em que o gás oxigênio é o oxidante final das reações de transformação de moléculas orgânicas em CO_2 e H_2O .

9.4 Fermentação

Fermentação é um processo de produção de ATP sem utilização de gás oxigênio, empregado principalmente por certos fungos e bactérias. Além disso, nossas próprias células fazem fermentação se não houver gás oxigênio suficiente para sustentar a atividade celular que está sendo demandada.

9.5 Fotossíntese

A fotossíntese garante autossuficiência em termos de nutrição orgânica à maioria dos seres autotróficos. As substâncias produzidas pelos autótrofos fornecem a energia e a matéria-prima necessárias à vida dos seres heterotróficos.

9.6 Quimiossíntese

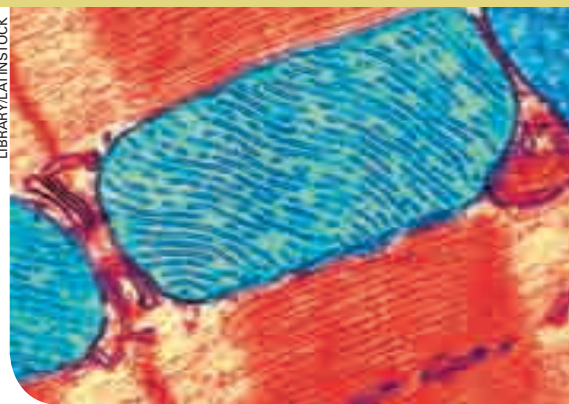
A quimiossíntese, realizada apenas por certas bactérias e arqueas, permite obter energia a partir de reações de oxidação de substâncias inorgânicas. Esse pode ter sido o primeiro modo de obtenção de energia na história da vida na Terra.



Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.



THOMAS DEERINCK, NCMI/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK



Em atividades físicas aeróbicas como a natação, os músculos esqueléticos e a musculatura cardíaca exigem grande quantidade de energia para trabalhar. A energia para a contração muscular é suprida pelas mitocôndrias, organelas responsáveis pela respiração celular. Na foto menor, micrografia ao microscópio eletrônico de transmissão de mitocôndrias de células musculares cardíacas coloridas em azul. Note as miofibrilas das células musculares, em vermelho. A disposição estratégica das mitocôndrias nessas células permite fornecimento ininterrupto de energia para a contração muscular. (Colorizada artificialmente; aumento $\approx 12.700\times$)

ANDREY YURLOV/SHUTTERSTOCK

Habilidades sugeridas

- ▶ Valorizar o estudo dos processos energéticos celulares e compreender as relações de interdependência entre os seres vivos e a composição físico-química do ambiente.
- ▶ Conceituar metabolismo e reconhecer que moléculas orgânicas são ricas em energia potencial química, que pode ser liberada ou armazenada em reações de oxirredução e aproveitada pelos seres vivos.

Conceitos principais

- metabolismo
- anabolismo
- catabolismo
- reação endergônica
- reação exergônica
- energia de ativação

1 A energia dos alimentos

Os sistemas biológicos, assim como tudo no universo, seguem duas leis básicas da termodinâmica. A primeira delas diz que, nos processos físicos e químicos, energia pode ser ganha ou perdida, transferindo-se de um sistema para outro, mas não pode ser criada nem destruída. A segunda lei da termodinâmica diz que a energia inevitavelmente se dissipa, isto é, passa de uma forma utilizável, como a dos fótons da luz e a dos elétrons das ligações químicas, para uma forma menos utilizável, o calor. Assim, para sobreviver, todo ser vivo necessita continuamente de energia, que é obtida a partir de substâncias orgânicas constituintes dos alimentos.

Se você analisar as tabelas de composição nutricional impressas nas embalagens de alimentos, verificará que elas geralmente trazem as quantidades relativas dos principais componentes do produto e a quantidade de energia que ele contém. (Fig. 9.1)

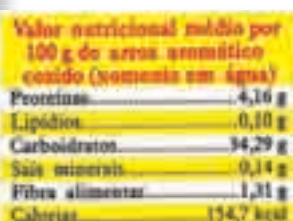
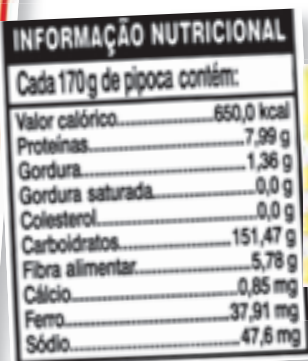
O valor energético dos alimentos, expresso em quilocalorias (kcal*; uma quilocaloria equivale a 1.000 cal), refere-se à parcela de energia disponível presente nas ligações químicas de suas moléculas, que pode ser liberada por oxidação. Por exemplo, 40 g de aveia em flocos (cerca de 2,5 colheres de sopa) podem fornecer ao organismo por volta de 140 kcal.

Mesmo sem realizar nenhum exercício físico, nosso corpo está sempre gastando energia. Veja, na tabela a seguir, uma estimativa da quantidade de calorias despendida por uma pessoa de 64 kg em algumas de suas atividades diárias. (Tab. 9.1)

Tabela 9.1 Calorias despendidas por uma pessoa de 64 kg em atividades diárias (valores estimados)				
Atividade	Nº de horas	× Massa corporal	× kcal/kg =	kcal (total)
Dormindo	8	64	1,0	512,0
Sentada	3	64	1,4	268,8
Escrevendo	5	64	1,6	512,0
Em pé	2	64	1,8	230,4
Andando	3	64	3,0	576,0
Exercitando-se	3	64	5,0	960,0
Total =				3.059,2 kcal

Fonte: Ainsworth, B. E. e cols., 1993.

Figura 9.1 Embalagens de alimentos (da esquerda para a direita, aveia, pipoca e arroz) que mostram os valores nutricionais médios. O valor energético dos componentes alimentares é expresso em quilocalorias (kcal). Muitas vezes, omite-se o prefixo “quilo” e escreve-se apenas “calorias”, como no rótulo da aveia, em que se lê “2.500 calorias”. O correto seria 2.500 quilocalorias.



* Caloria (cal) é uma unidade de medida de energia que corresponde ao calor requerido para elevar de 14,5 °C para 15,5 °C a temperatura de 1 g de água; uma caloria (cal) é igual a 4,1868 J. O joule (J) é a unidade de medida de energia adotada no Sistema Internacional de Unidades.

2 Anabolismo e catabolismo

A energia que um ser vivo necessita continuamente é utilizada para manter suas diversas atividades celulares, nas quais moléculas são modificadas, quebradas ou unidas entre si, transformando-se em outras. Essa intensa e incessante atividade de transformações bioquímicas, ou seja, reações químicas catalisadas por enzimas, constitui o **metabolismo**.

As reações metabólicas costumam ser classificadas em dois tipos fundamentais: reações de síntese e reações de degradação. As **reações de síntese** são aquelas em que moléculas mais simples são unidas para formar moléculas de maior complexidade. Nas **reações de degradação**, moléculas complexas são quebradas, transformando-se em outras mais simples. Por exemplo, a união de aminoácidos para formar proteínas é uma reação de síntese, enquanto a quebra do glicogênio em moléculas de glicose é uma reação de degradação.

O conjunto de reações de síntese, por meio das quais um ser vivo constrói as complexas moléculas orgânicas que formam seu corpo, constitui o **anabolismo**. As reações de degradação de moléculas constituem o **catabolismo**. É por meio das reações catabólicas que os seres vivos obtêm a matéria-prima e a energia necessárias à vida.

3 Reações endergônicas e reações exergônicas

Uma reação química é uma mudança em que um ou mais compostos químicos, os **reagentes**, formam novos tipos de compostos, os **produtos**. Em certas reações, a quantidade total de energia presente nas ligações químicas dos produtos é maior que a que existia nas ligações entre os átomos dos reagentes. Isso significa que esse tipo de reação absorve energia, daí a denominação: **reação endergônica** (do grego *endos*, dentro, e *ergon*, energia). Em outros tipos de reação química, ocorre o inverso: a quantidade total de energia presente nas ligações entre os átomos dos produtos é menor que a que existia nas ligações químicas dos reagentes. Nesse caso, a reação libera energia, sendo por isso chamada de **reação exergônica**.

Um exemplo de reação exergônica é a combustão de substâncias orgânicas como álcool, metano, glicose etc. Combustão é a denominação genérica das reações químicas em que uma substância se combina com gás oxigênio, formando H_2O e CO_2 e liberando energia. Na combustão da glicose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$), por exemplo, cada molécula desse glicídio reage com seis moléculas de gás oxigênio (O_2), produzindo seis moléculas de gás carbônico (CO_2) e seis moléculas de água (H_2O). Essa reação libera 686 kcal por mol* de glicose degradada. (Fig. 9.2)

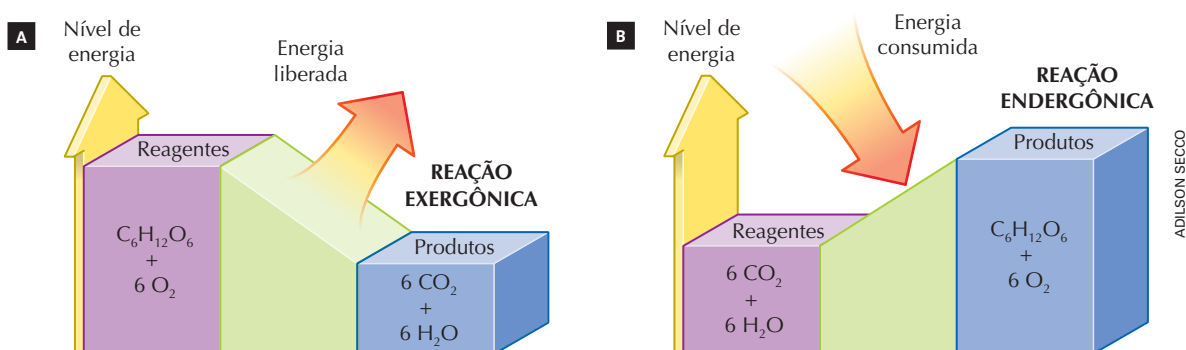


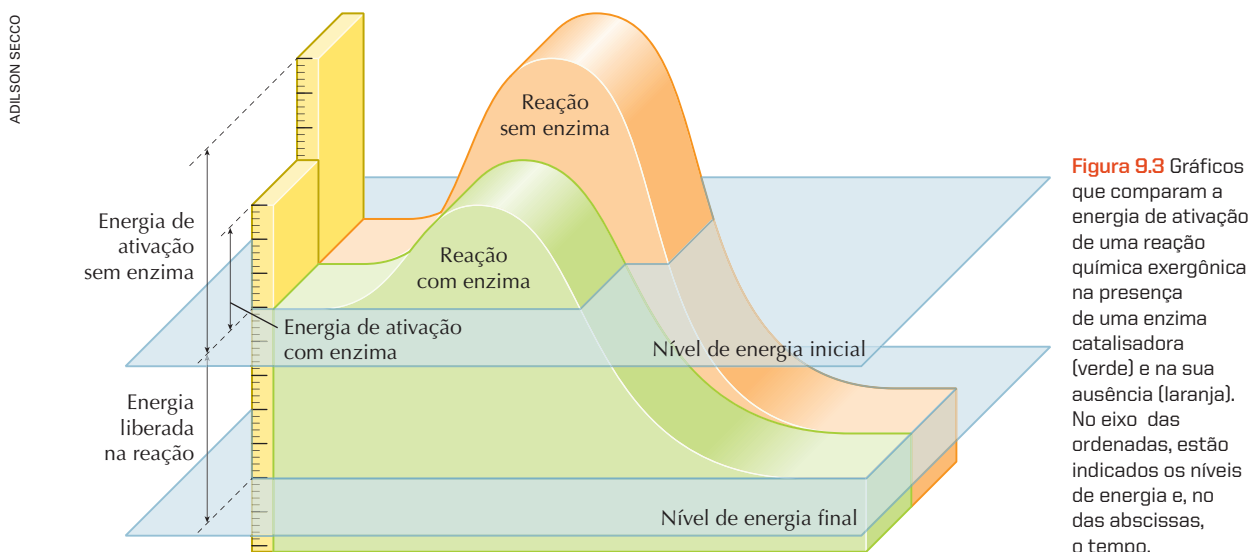
Figura 9.2 **A.** A reação de combustão da glicose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) é exergônica, pois a energia potencial contida nos produtos da reação é menor que a contida nos reagentes. **B.** A reação de síntese de glicose a partir de CO_2 e H_2O é endergônica, pois absorve energia.

* Mol é a unidade adotada pelo Sistema Internacional de Unidades para medir a quantidade de matéria. Um mol é a quantidade de determinada substância que contém $6,02 \times 10^{23}$ unidades componentes. Por exemplo, 1 mol de água (H_2O) contém $6,02 \times 10^{23}$ moléculas de H_2O , cuja massa é 18 g; 1 mol de glicose contém $6,02 \times 10^{23}$ moléculas de $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, cuja massa é 180 g.

4 Energia de ativação e enzimas

Toda reação química demanda um investimento inicial de energia para ocorrer. A quantidade mínima de energia inicial que as moléculas reagentes devem possuir para que uma reação química aconteça é chamada de **energia de ativação**. Uma maneira de ativar moléculas é fornecer a elas energia na forma de calor; é isso que fazemos quando utilizamos uma chama ou uma faísca para dar início à combustão do gás de cozinha nos fogões domésticos ou da gasolina no motor de um automóvel. Nos seres vivos, no entanto, a ativação das reações químicas não pode ser feita pelo aquecimento, pois os sistemas biológicos são sensíveis ao calor e seriam danificados. Basta lembrar, por exemplo, que a maioria das proteínas se desnatura e perde suas funções biológicas em temperaturas superiores a 45 °C.

A estratégia desenvolvida pelos seres vivos para superar a barreira inicial das reações foi a utilização de **enzimas**, proteínas catalisadoras que diminuem a quantidade de energia necessária para ativar os reagentes. A enzima conduz os reagentes por um “atalho energético”, em que a reação pode ser iniciada com nível bem mais baixo de energia de ativação. (Fig. 9.3)



Seção 9.2

ATP, a “moeda energética” do mundo vivo

Habilidade sugerida

- Compreender o papel das moléculas de ATP como intermediadoras dos processos energéticos celulares.

Conceitos principais

- ATP (trifosfato de adenosina)
- ADP (difosfato de adenosina)

Estrutura química do ATP

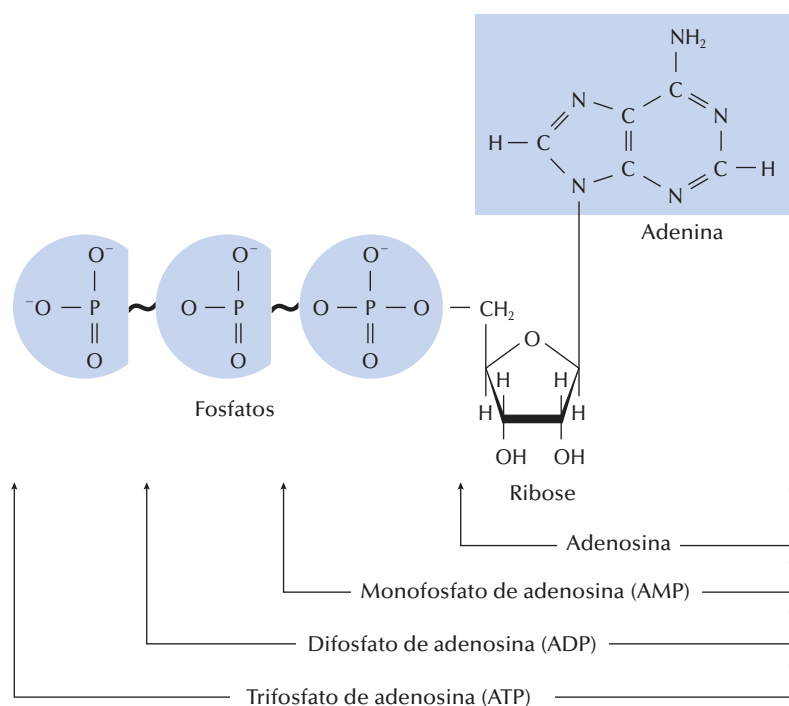
A energia liberada na degradação de moléculas orgânicas pelas células não é usada diretamente para a realização de trabalho celular. Antes de ser empregada nos processos celulares, a energia é armazenada em moléculas de uma substância chamada **trifosfato de adenosina**. Essa substância, mais conhecida pela sigla **ATP** (do inglês, **A**denosine **T**ri**p**hos**p**hate), desempenha um papel fundamental em todos os tipos de célula, que consiste em captar e armazenar a energia liberada nas reações celulares exergônicas, transferindo-a, posteriormente, para os processos celulares endergônicos.

O trifosfato de adenosina, ou ATP, é um nucleotídeo constituído pela base nitrogenada adenina unida ao glicídio ribose que, por sua vez, se une a uma cadeia de três grupos fosfatos. As ligações químicas entre os fosfatos do ATP são ligações de alta energia e costumam ser representadas graficamente pelo símbolo ~.

Durante a oxidação de moléculas orgânicas do alimento, parte da energia liberada pelos elétrons é utilizada para a síntese de moléculas de ATP, ficando armazenada nas ligações químicas entre seus grupos fosfatos. A energia que não é transferida para o ATP dissipa-se como calor, ao passo que a energia armazenada no ATP pode ser transferida para os mais diversos tipos de processos metabólicos que acontecem em uma célula.

O estoque de ATP em uma única célula é da ordem de um bilhão de moléculas, que são usadas e repostas a cada dois ou três minutos, ininterruptamente. Por essa razão, alguns pesquisadores comparam o ATP a uma “moeda energética” que circula dentro da célula e “custeia” os gastos metabólicos.

O ATP é normalmente sintetizado a partir de uma molécula precursora semelhante a ele, mas que possui apenas dois fosfatos: o **ADP**, ou **difosfato de adenosina**. A síntese de ATP ocorre pela adição de um grupo fosfato inorgânico, simbolizado por P_i , ao ADP. Essa reação demanda quantidade considerável de energia, aproximadamente 7,3 kcal/mol. A quebra do ATP em ADP e P_i fornece quantidade equivalente de energia (7,3 kcal/mol) para as atividades celulares. (Fig. 9.4)



ADILSON SECCO

Figura 9.4 Fórmula estrutural do ATP. A parte da molécula formada pela adenina e pela ribose é chamada de adenosina. A adição de um fosfato à adenosina origina o monofosfato de adenosina (AMP). A adição de um segundo fosfato dá origem ao difosfato de adenosina (ADP), e a de um terceiro fosfato origina o trifosfato de adenosina (ATP).

O mecanismo mais comum de fornecimento de energia para os processos celulares é a transferência de um grupo fosfato do ATP para outras moléculas, o que provoca nelas as alterações necessárias à realização do trabalho celular. Por exemplo, na síntese de diversas substâncias, o fosfato é transferido a um dos reagentes, que adquire, assim, a energia necessária para se unir a outras moléculas e gerar os produtos. No transporte ativo de íons realizado pelas bombas de sódio-potássio da membrana plasmática, o grupo fosfato liberado na quebra do ATP combina-se com as proteínas transportadoras da membrana, provocando mudanças em suas estruturas espaciais. Isso permite que essas proteínas movimentem-se através da membrana plasmática e carreguem íons de sódio (Na^+) para o meio extracelular. Ali, elas capturam íons de potássio (K^+), liberam o excesso de energia recebida com o fosfato e voltam à sua configuração original, carregando os novos íons para dentro da célula. O fosfato (P_i) solta-se então das proteínas transportadoras e pode ser utilizado na síntese de novas moléculas de ATP. (veja a Figura 5.8, na página 117)



Nos movimentos celulares, a energia obtida do ATP faz com que moléculas de miosina adquiram uma configuração instável, com alta energia potencial. Nessa condição, elas puxam as fibras de actina com as quais estão em contato, realizando trabalho. O deslizamento das fibras da proteína actina sobre as moléculas de miosina é responsável por muitos movimentos celulares. No caso específico dos músculos, esse deslizamento faz com que as células encurtem, promovendo a contração muscular. (Fig. 9.5)

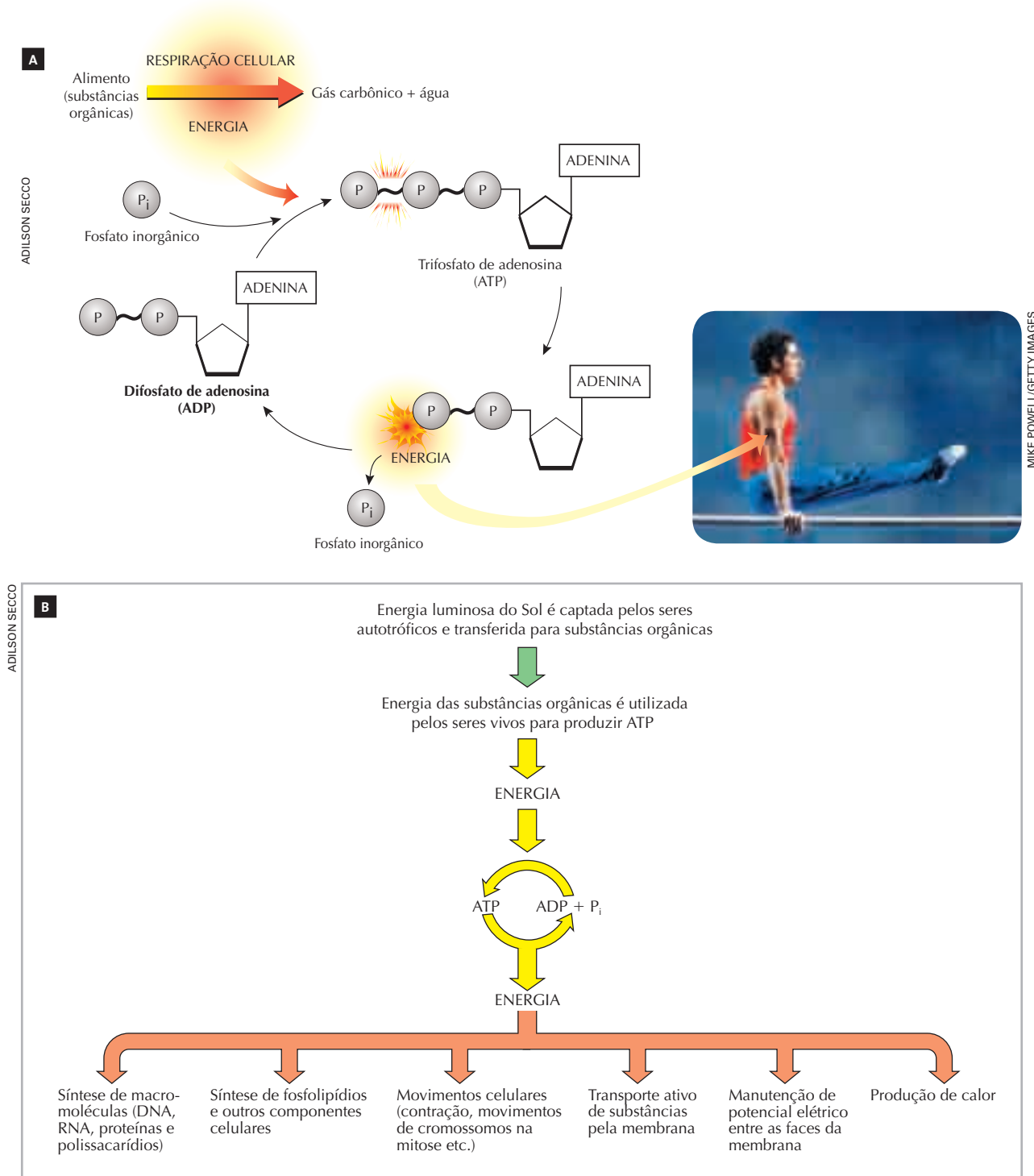


Figura 9.5 A. Esquema que representa o papel do ATP como “moeda energética” do metabolismo celular. Reações em que moléculas orgânicas do alimento são degradadas, como as da respiração celular, transferem energia para a síntese de moléculas de ATP. Estas, ao serem degradadas, fornecem energia para trabalhos celulares, como a contração muscular. **B.** Esquema geral que representa os caminhos da energia nos seres vivos, mediada pelo ATP.

Respiração celular

Habilidades sugeridas

- Conceituar respiração celular e identificar as equações químicas gerais referentes a esse processo.
- Conhecer e compreender as principais etapas da respiração celular (glicólise, ciclo de Krebs e fosforilação oxidativa), identificando os locais da célula onde elas ocorrem.
- Conhecer os principais compostos que servem de fonte de energia para a respiração celular.

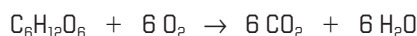
Conceitos principais

- respiração celular
- glicólise
- aceptor de elétrons
- ciclo do ácido cítrico
- fosforilação oxidativa
- cadeia transportadora de elétrons
- sintase do ATP
- teoria quimiosmótica

1 Etapas da respiração celular

A maioria dos seres vivos produz ATP para suas necessidades energéticas por meio da **respiração celular**, um processo de oxidação em que o gás oxigênio atua como agente oxidante de moléculas orgânicas. Nesse processo, moléculas de ácidos graxos ou de glicídios, principalmente glicose, são degradadas, formando moléculas de gás carbônico (CO_2) e de água (H_2O) e liberando energia, utilizada na produção de moléculas de ATP a partir de ADP e P_i .

A respiração celular da glicose é equivalente à sua combustão, em termos de reagentes e produtos. Nos dois casos, uma molécula de glicose reage com seis moléculas de gás oxigênio, produzindo seis moléculas de gás carbônico e seis moléculas de água:



Na respiração celular, a energia das moléculas orgânicas é liberada pouco a pouco, em uma sequência ordenada de reações químicas bem controladas, e parte dessa energia é armazenada na forma de ATP.

A degradação da glicose na respiração celular ocorre em três etapas metabólicas: glicólise, ciclo de Krebs e fosforilação oxidativa. Nas células eucarióticas, a glicólise ocorre no citosol, enquanto o ciclo de Krebs e a fosforilação oxidativa ocorrem no interior das mitocôndrias.

Glicólise

A **glicólise** (do grego *glykos*, açúcar, e *lysis*, quebra) é uma sequência de dez reações químicas catalisadas por enzimas livres no citosol. Nela, uma molécula de glicose é quebrada em duas moléculas de **ácido pirúvico*** (fórmula geral $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_3$), com saldo líquido de duas moléculas de ATP.

O processo tem início com a ativação da molécula de glicose, que ocorre pela adição de dois fosfatos energéticos provenientes de duas moléculas de ATP. Com isso, a molécula de glicose torna-se instável e quebra-se em duas moléculas menores de ácido pirúvico. O consumo inicial de dois ATP é um investimento energético que será recuperado durante a própria glicólise, pois a quebra da glicose em dois ácidos pirúvicos é suficiente para produzir quatro moléculas de ATP. O saldo energético líquido da glicólise é, portanto, de dois ATP por molécula de glicose. (Fig. 9.6)

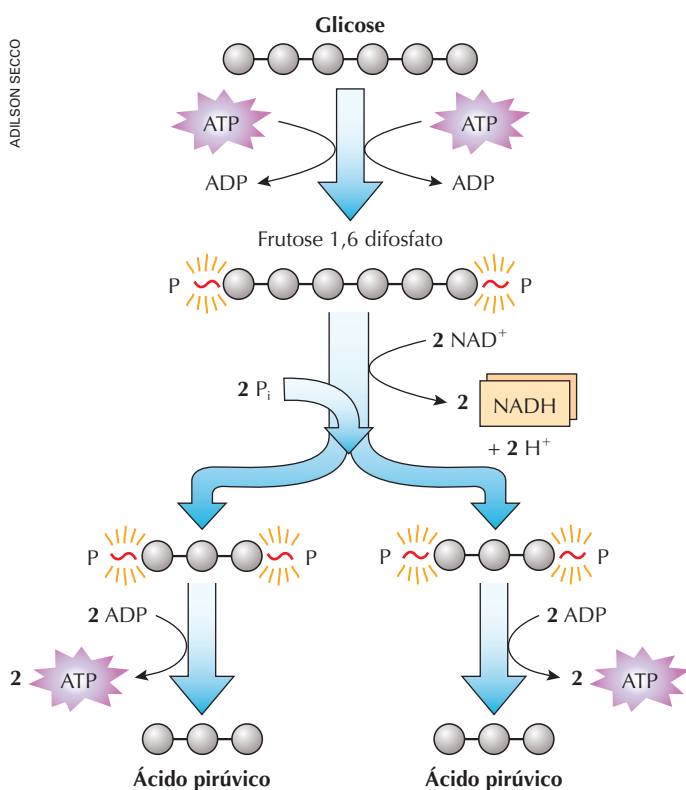


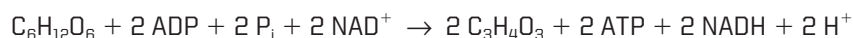
Figura 9.6 Esquema das etapas da glicólise.

* Por conveniência, sempre nos referimos aos ácidos em sua forma não dissociada. Entretanto, nas condições do meio intracelular, os ácidos estão em sua maior parte dissociados em íons H^+ e íons negativos, no caso, o piruvato ($\text{C}_3\text{H}_3\text{O}_3^-$).

Além de duas moléculas de ácido pirúvico, a glicólise libera quatro elétrons (e^-) com nível alto de energia e quatro íons H^+ . Dois desses íons H^+ permanecem livres no citosol, enquanto os outros dois e os quatro elétrons energizados são prontamente capturados por duas moléculas da substância dinucleotídio de nicotinamida-adenina, ou **NAD** (sigla do inglês *Nicotinamide Adenine Dinucleotide*). Moléculas dessa substância na forma oxidada (NAD^+) passam para o estado reduzido ($NADH$) ao capturarem elétrons e íons H^+ , como mostrado na equação a seguir:



A equação química que resume a glicólise é:

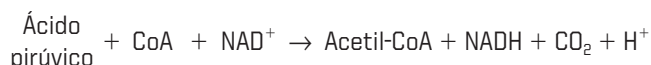


O NAD^+ desempenha papel central no metabolismo energético das células; ele captura elétrons de alta energia provenientes da degradação de moléculas orgânicas e fornece-os aos sistemas de síntese de ATP. Por essa capacidade de “aceitar” elétrons energizados e íons H^+ , o NAD^+ é denominado **aceptor de elétrons**, ou **aceptor de hidrogênio**.

A glicólise é uma etapa anaeróbia do processo de degradação da glicose, pois não necessita de gás oxigênio para ocorrer. As etapas seguintes, porém, são aeróbias e só ocorrem se houver gás oxigênio suficiente. Na falta desse gás, as moléculas de ácido pirúvico são transformadas, ainda no citosol, em ácido láctico ou em etanol, dependendo do tipo de organismo. Esse processo é denominado fermentação e será estudado mais adiante neste capítulo.

Ciclo de Krebs ou ciclo do ácido cítrico

O ácido pirúvico produzido na glicólise é transportado através das membranas da mitocôndria e, na matriz mitocondrial, reage imediatamente com uma substância denominada **coenzima A** (CoA). Nessa reação, são produzidas uma molécula de acetilcoenzima A (**acetil-CoA**) e uma molécula de gás carbônico (CO_2). Dela também participa uma molécula de NAD^+ , que se transforma em $NADH$ ao capturar 2 elétrons de alta energia e 1 dos 2 íons H^+ liberados na reação:



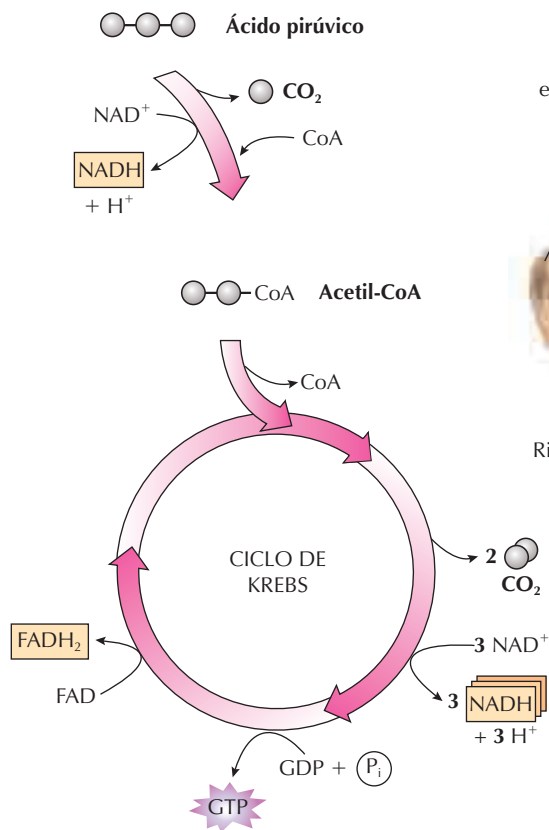
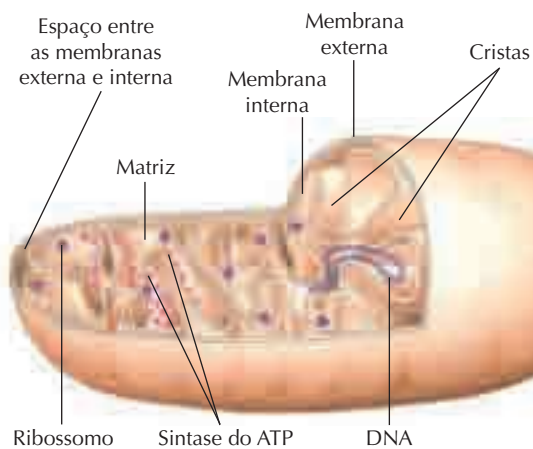
Na matriz mitocondrial, as moléculas de acetil-CoA são oxidadas e originam, no final do processo, duas moléculas de gás carbônico e a coenzima A intacta. A oxidação completa da acetil-CoA consiste de um conjunto de nove reações químicas sequenciais que formam um ciclo, pois uma molécula de ácido oxalacético une-se à acetil-CoA no início do processo e é recuperada intacta no final. Esse conjunto de reações é conhecido como **ciclo do ácido cítrico** ou **ciclo de Krebs**. Esta última denominação é uma homenagem a Hans Adolf Krebs (1900-1981), o bioquímico alemão que desvendou esse conjunto de reações e, em 1953, recebeu o prêmio Nobel para Fisiologia ou Medicina por esse feito.

O ciclo de Krebs tem início com uma reação entre a acetil-CoA e o ácido oxalacético, em que é liberada a molécula de coenzima A e formada uma molécula de **ácido cítrico**. Ao longo das oito reações subsequentes, são liberadas 2 moléculas de gás carbônico, elétrons de alta energia e íons H^+ . O ácido oxalacético é recuperado intacto ao final do processo, pronto para se combinar com outra molécula de acetil-CoA e reiniciar outro ciclo. (**Fig. 9.7**)

Os elétrons de alta energia e os íons H^+ são prontamente capturados por moléculas de NAD^+ , que se transformam em $NADH$, e também por um outro aceptor de elétrons, o dinucleotídio de flavina-adenina, ou **FAD** (do inglês *Flavine Adenine Dinucleotide*), que se transforma em **FADH₂**. Ao longo de cada ciclo de Krebs, são formados 3 $NADH$ e 1 $FADH_2$.

Em uma das etapas do ciclo, a energia liberada permite a formação direta de uma molécula de trifosfato de guanosina, ou **GTP** (do inglês *Guanosine Triphosphate*), a partir de GDP (difosfato de guanosina) e P_i . O GTP é muito semelhante ao ATP; difere dele apenas por apresentar a base nitrogenada guanina em vez de adenina. É o GTP que fornece energia para alguns processos celulares, como a síntese de proteínas. O GTP também pode ser formado pela transferência do fosfato energético do ATP para um GDP; de forma similar, ATP pode ser gerado pela transferência do fosfato do GTP para um ADP.



A**B**

JURANDIR RIBEIRO

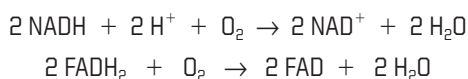
Figura 9.7 A. Esquema das transformações do ácido pirúvico. No interior da mitocôndria, o ácido pirúvico origina acetil-CoA, que participa da sequência de reações químicas do ciclo de Krebs (ou ciclo do ácido cítrico). **B.** Representação esquemática de uma mitocôndria com parte removida para mostrar seus componentes internos. O ciclo de Krebs ocorre na matriz mitocondrial. (Imagem sem escala, cores-fantasia.)

Em resumo, no ciclo de Krebs são formados: 2 CO₂ + 3 NADH + 1 FADH₂ + 1 GTP (correspondente a um ATP). A tabela a seguir traz o resultado das etapas da degradação da glicose. (Tab. 9.2)

Tabela 9.2 Resultado líquido das etapas de glicólise e ciclo de Krebs da respiração celular				
Processos da respiração celular	Moléculas de CO₂ produzidas	Moléculas de NAD⁺ reduzidas a NADH	Moléculas de FAD reduzidas a FADH₂	Moléculas de ATP (ou GTP) formadas
1 molécula de glicose originando 2 de ácido pirúvico	0	2	0	2
2 moléculas de ácido pirúvico originando 2 de acetil-CoA	2	2	0	0
2 moléculas de acetil-CoA originando 4 de CO ₂	4	6	2	2
TOTAL	6	10	2	4

Fosforilação oxidativa

A síntese da maior parte do ATP gerado na respiração celular está acoplada à reoxidação das moléculas de NADH e FADH₂, que se transformam em NAD⁺ e FAD respectivamente. Nessa reoxidação, são liberados elétrons com alto nível de energia que, após perderem seu excesso de energia, reduzem o gás oxigênio a moléculas de água, de acordo com as seguintes equações gerais:



A energia liberada gradativamente pelos elétrons durante sua transferência até o gás oxigênio é usada na produção de ATP. O termo **fosforilação oxidativa** refere-se justamente à produção de ATP, pois a adição de fosfato ao ADP para formar ATP é uma reação de fosforilação. Ela é chamada oxidativa porque ocorre em diversas oxidações sequenciais, nas quais o último agente oxidante é o gás oxigênio (O_2).

Cadeia transportadora de elétrons

Na membrana interna da mitocôndria há conjuntos de proteína dispostos em sequência que participam na condução dos elétrons do NADH e do $FADH_2$ até o gás oxigênio. Cada conjunto sequencial de proteínas recebe o nome de **cadeia transportadora de elétrons** ou **cadeia respiratória**.

Os transferidores de elétrons nas cadeias respiratórias são proteínas denominadas **citocromos**, que possuem ferro em sua composição. Cada tipo de citocromo é capaz de capturar elétrons com certo nível de energia e transferi-los, com um nível de energia menor, para o citocromo imediatamente seguinte. (Fig. 9.8)

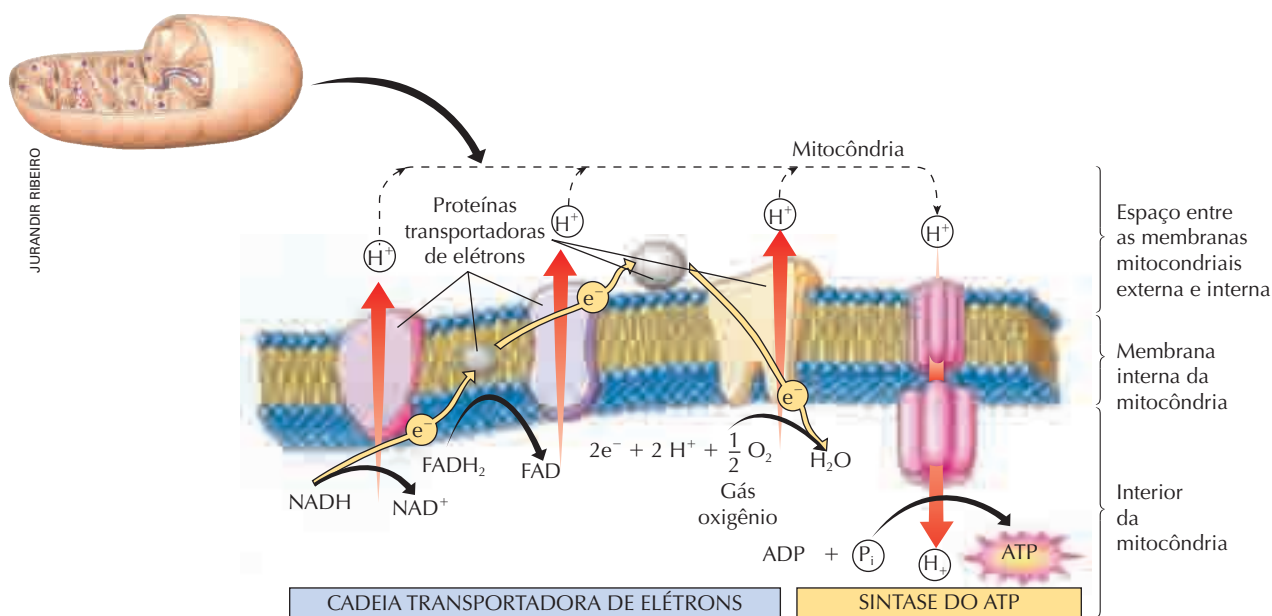


Figura 9.8 Representação esquemática mostrando detalhe dos conjuntos transportadores da cadeia respiratória e da sintase do ATP. (Imagens sem escala, cores-fantasia.) (Baseado em Campbell, N. e cols., 1999.)

A passagem dos elétrons ao longo da cadeia respiratória tem início quando o NADH doa seu par de elétrons ao primeiro aceptor da cadeia respiratória, que os transfere ao seguinte e assim por diante. Essa transferência dos elétrons de um componente da cadeia a outro faz com que eles percam energia gradativamente e possam, ao final da cadeia, combinar-se com o gás oxigênio (O_2), produzindo água na reação. O gás oxigênio só participa efetivamente da respiração celular nessa última etapa; no entanto, em sua ausência, o ciclo é rapidamente interrompido.

A energia liberada pelos elétrons em sua passagem pela cadeia respiratória, que alguns autores chamam de força eletromotiva, é usada para concentrar íons H^+ no espaço entre as membranas mitocondriais. Em alta concentração nesse estreito compartimento, a tendência desses íons é voltar à matriz mitocondrial, gerando, assim, uma pressão potencial de difusão, chamada força protomotiva. Mas os íons H^+ só podem retornar ao interior da mitocôndria passando através de um complexo de proteínas, denominado **sintase de ATP**, presente na membrana mitocondrial interna. Esse complexo proteico é comparável à turbina de uma usina hidrelétrica: ele possui um rotor interno que gira, movido pela passagem dos íons H^+ . Nesse processo, a energia potencial de difusão dos íons H^+ é convertida em energia mecânica (rotação da sintase) e, em seguida, em energia química, na ligação entre os fosfatos do ATP.

Esse mecanismo de produção de ATP nas mitocôndrias e também nos cloroplastos, como veremos mais adiante neste capítulo, foi comprovado em diversos experimentos e tornou-se conhecido como **teoria quimiosmótica**. Foi o bioquímico inglês Peter Mitchell (1920-1992) quem propôs a teoria quimiosmótica, na década de 1960, tendo recebido o prêmio Nobel de Química por esse trabalho em 1978.

De volta ao interior da mitocôndria, os íons H^+ combinam-se aos elétrons transportados pela cadeia respiratória e aos átomos provenientes do gás oxigênio para formar moléculas de água.

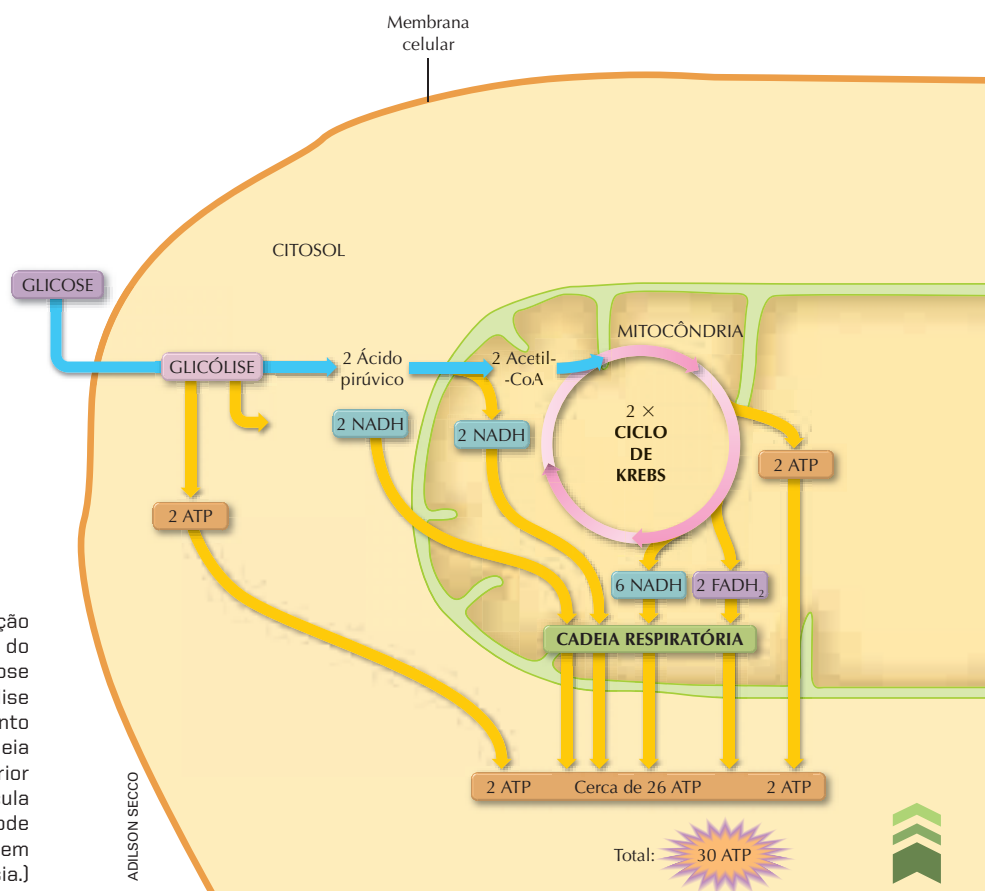
Rendimento energético na respiração celular

A energia liberada pelos elétrons com alta energia, obtidos de uma molécula de glicose em sua passagem pela cadeia respiratória, pode formar até um máximo de 26 moléculas de ATP. Somando-se essas 26 moléculas aos dois ATP formados na glicólise e aos dois formados no ciclo de Krebs (um GTP para cada acetil-CoA), obtém-se o rendimento máximo da respiração celular, que é, segundo as pesquisas mais recentes, de 30 moléculas de ATP por molécula de glicose. (Fig. 9.9)

2 Fontes de energia para a respiração celular: glicídios e ácidos graxos

Todas as nossas células oxidam glicídios para obtenção de energia; algumas, como as células nervosas do encéfalo, obtêm praticamente toda a energia de que necessitam pela oxidação aeróbica da glicose. É por isso que nosso organismo precisa manter estável a taxa desse glicídio no sangue: sua diminuição pode causar desmaio e até mesmo coma, por afetar diretamente o sistema nervoso. A glicose fica armazenada no fígado na forma de glicogênio e é liberada no sangue quando há diminuição da glicemia (taxa de glicose no sangue), como ocorre nos intervalos entre as refeições.

Figura 9.9 Representação esquemática das etapas do metabolismo aeróbico da glicose com produção de ATP. A glicólise ocorre no citosol, enquanto o ciclo de Krebs e a cadeia respiratória ocorrem no interior da mitocôndria. Cada molécula de glicose metabolizada pode produzir até 30 ATP. (Imagem sem escala, cores-fantasia.)



Apesar da importância da oxidação aeróbia dos glicídios em nossas células, a maior parte da energia utilizada por nosso organismo é proveniente de lipídios. A degradação de 1 g de triglicerídios (um tipo de lipídio) com formação de gás carbônico (CO_2) gera 6 vezes mais ATP do que a oxidação de uma quantidade equivalente de glicogênio.

Os triglicerídios são armazenados no citoplasma das células adiposas (geralmente localizadas sob a pele), na forma de gotículas de gordura. Quando necessário, suas moléculas são quebradas em seus constituintes básicos, glicerol e ácidos graxos, e estes últimos são lançados na corrente sanguínea. As células do corpo humano, com exceção das do sistema nervoso e das hemácias, captam os ácidos graxos do sangue, utilizando-os na produção de ATP.

No interior das células, os ácidos graxos são transportados para as mitocôndrias, onde produzem moléculas de acetil-CoA. Da mesma forma que as moléculas de acetil-CoA produzidas a partir do ácido pirúvico na oxidação de glicídios, moléculas de acetil-CoA produzidas pela oxidação de ácidos graxos entram no ciclo de Krebs e são totalmente degradadas a gás carbônico (CO_2) e água (H_2O). (Fig. 9.10)

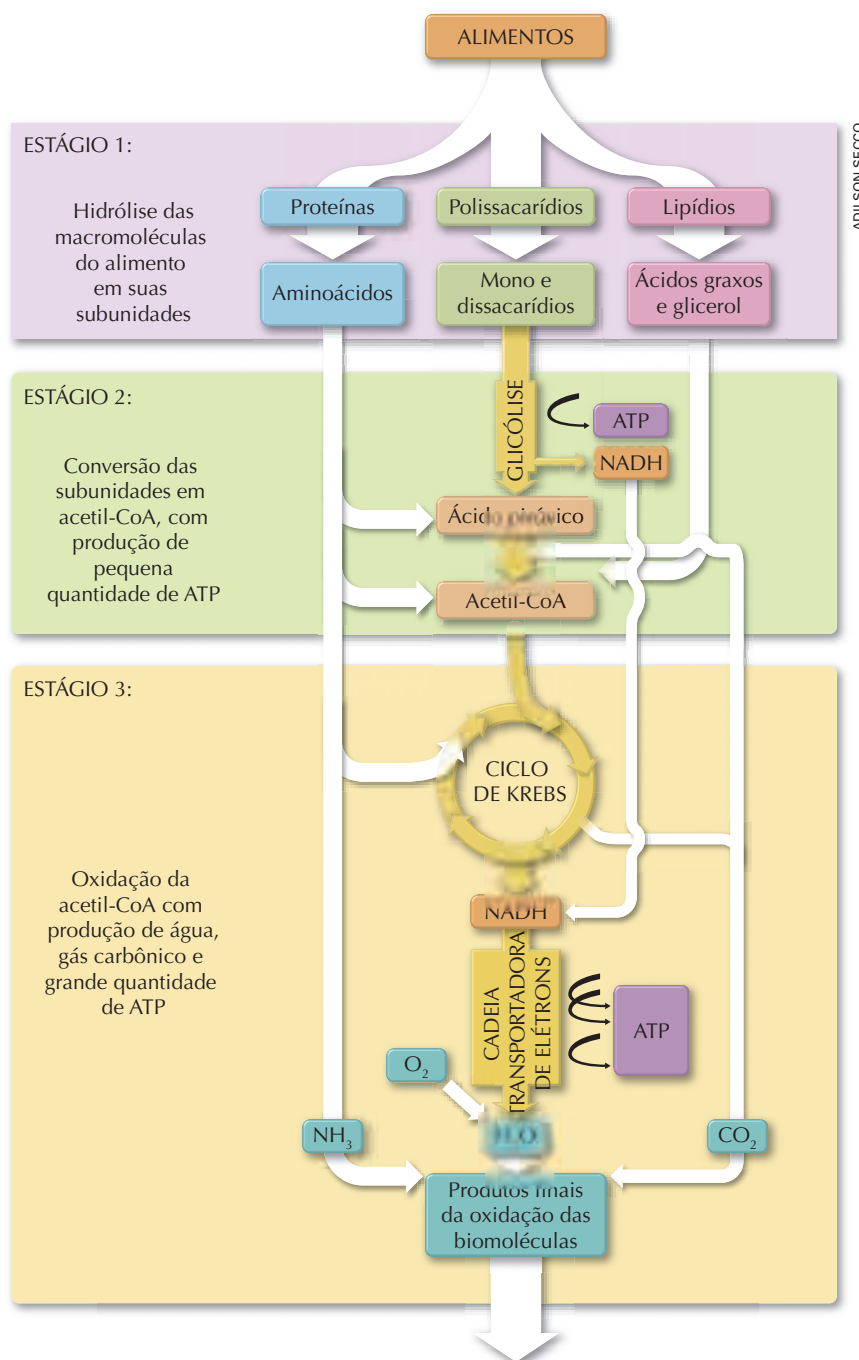


Figura 9.10 Esquema das possíveis vias de utilização dos três principais nutrientes alimentares – proteínas, polissacarídeos e lipídios – para produção de energia na forma de ATP.

Fermentação

Habilidades sugeridas

- Conceituar fermentação e identificar as equações químicas gerais referentes a esse processo.
- Exemplificar empregos tecnológicos da fermentação: produção de bebidas alcoólicas, de alimentos etc.

Conceito principal

- fermentação

A importância da fermentação

A maioria dos organismos eucarióticos obtém energia para a produção de ATP por meio da respiração aeróbica, na qual oceptor final de elétrons é o gás oxigênio. Assim, esses organismos só conseguem viver em presença desse gás e por isso são chamados de **aeróbios obrigatórios**.

Alguns organismos eucarióticos, como as leveduras, ou levedos (tipos de fungo), e uns poucos moluscos e anelídeos, são chamados de **anaeróbios facultativos**, pois podem viver tanto na presença como na ausência de gás oxigênio. Muitas bactérias, por sua vez, são **anaeróbias**, isto é, não necessitam de gás oxigênio para viver. Certas bactérias nem mesmo suportam a presença de gás oxigênio, que pode matá-las, e por isso são chamadas de **anaeróbias obrigatórias**. Organismos anaeróbios obtêm energia pela degradação incompleta das moléculas orgânicas do alimento, com um rendimento energético bem inferior ao da respiração aeróbica.

O principal processo anaeróbio de produção de ATP a partir de substâncias orgânicas é a **fermentação**, utilizada por muitos fungos e bactérias que vivem em ambientes pobres em gás oxigênio. Além disso, nossas próprias células executam fermentação se a demanda de ATP for muito grande.

A fermentação realizada pela maioria dos organismos, como leveduras, certas bactérias e também por nossas células musculares, consiste em uma glicólise semelhante à que compõe a respiração celular. A diferença é que, na fermentação, o ácido pirúvico recebe elétrons e H^+ do NADH, transformando-se em ácido láctico, ou em álcool etílico (etanol) e gás carbônico, dependendo do tipo de organismo que realiza o processo. Se o produto da fermentação é ácido láctico, fala-se em fermentação láctica; se o produto é álcool etílico, fala-se em fermentação alcoólica.

A fermentação pode ser definida como um processo de degradação incompleta de moléculas orgânicas com liberação de energia para formação de ATP, em que oceptor final de elétrons e de H^+ é uma molécula orgânica. A parte final da fermentação, em que ácido pirúvico é transformado em ácido láctico, ou em etanol e gás carbônico, é uma reação de oxirredução: o ácido pirúvico atua comoceptor final de elétrons e dos H^+ liberados na glicólise e captados pelo NAD^+ . (Fig. 9.11)

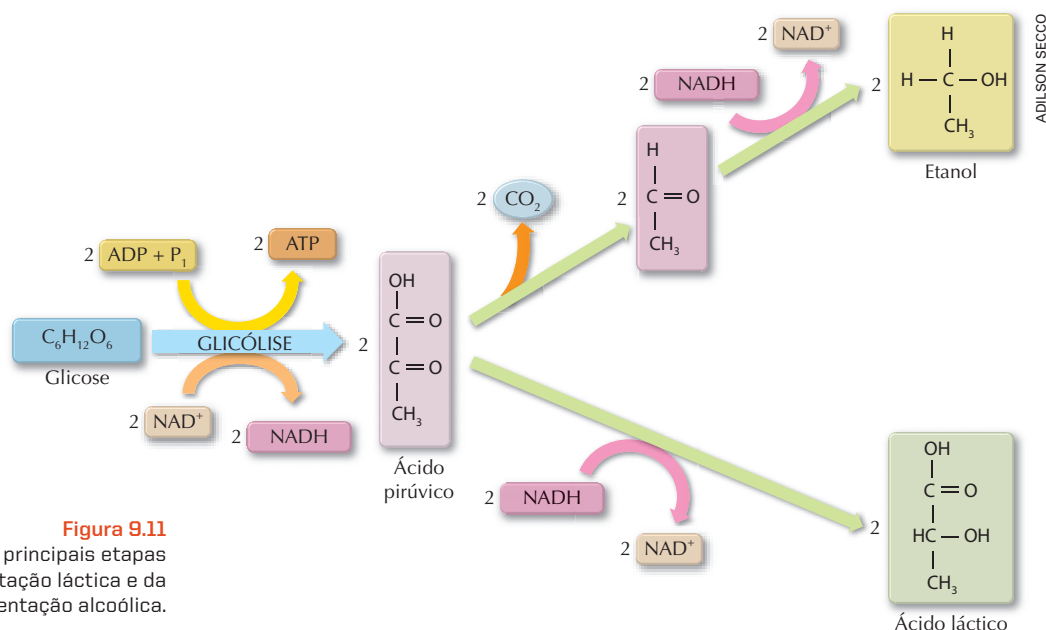


Figura 9.11
Esquema das principais etapas da fermentação láctica e da fermentação alcoólica.

1 A “domesticação” e a utilização de microrganismos fermentadores pela espécie humana datam de milhares de anos. O pão e o vinho, os mais tradicionais alimentos da humanidade, são produtos da fermentação realizada por leveduras do gênero *Saccharomyces*. Diversas espécies de fungos e de bactérias podem fermentar vários tipos de substratos, gerando produtos finais que dependem tanto do organismo que realiza o processo quanto das substâncias fermentadas.

2 Na panificação, a levedura *S. cerevisiae*, misturada à farinha, fermenta açúcares nela presentes e produz etanol (álcool etílico) e gás carbônico. Esse gás é liberado na forma de minúsculas bolhas que se dilatam durante o cozimento, tornando a massa macia e leve. Algumas receitas de pães e bolos utilizam, em vez de leveduras, bicarbonato de sódio. Esse composto, conhecido como fermento químico, produz bolhas de gás carbônico que também tornam a massa macia e leve, mas sem o valor nutricional conferido pelas leveduras. (Fig. 9.12)

3 As bebidas alcoólicas resultam da fermentação dos açúcares de frutos ou sementes por leveduras, que liberam etanol e gás carbônico no processo. A produção de cerveja, por exemplo, utiliza a fermentação de açúcares provenientes da degradação do amido, que ocorre durante a germinação das sementes de cevada. Os agentes fermentadores, nesse caso, são leveduras das espécies *Saccharomyces cerevisiae* ou *Saccharomyces carlsbergensis*. Na produção do vinho, o substrato é suco de uvas e o agente fermentador, a levedura *Saccharomyces ellipsoideus*, presente naturalmente na superfície das uvas maduras. No México, um tipo de cerveja conhecida como pulque é produzida desde tempos pré-colombianos pela fermentação de plantas do gênero *Agave* por leveduras e lactobacilos. O destilado resultante do produto dessa fermentação é a popular tequila. O vinho de arroz dos japoneses, conhecido como saquê, resulta da ação de leveduras sobre os açúcares gerados pela degradação do amido de sementes de arroz pelo fungo *Aspergillus oryzae*.

4 Produtos da fermentação do leite têm história tão antiga quanto a dos vinhos, cervejas e pão, uma vez que o leite é um excelente substrato para o desenvolvimento de diversos tipos de microrganismos. A fermentação láctica é largamente utilizada na produção de laticínios como queijos, coalhadas e iogurtes. Diversos tipos de queijo são fabricados a partir de leite previamente coagulado por uma enzima, a renina, obtida do estômago de mamíferos. Após a drenagem do fluido (soro), a massa coagulada, composta basicamente de caseína (a proteína do leite), é inoculada com a linhagem de bactéria



Figura 9.12 O fungo *Saccharomyces cerevisiae* constitui o chamado fermento biológico, que produz gás carbônico em sua fermentação; é esse gás que faz o pão crescer.

correspondente ao tipo de queijo que se quer obter. Substâncias produzidas e eliminadas pelas bactérias fermentadoras são responsáveis pelo sabor e aroma característicos de cada tipo de queijo. Por exemplo, na produção do queijo suíço é empregada a bactéria *Propionibacterium freudenreichii*, que libera, como produto da fermentação da lactose do leite, ácido propiônico e gás carbônico, responsáveis pelo sabor característico e pelas cavidades típicas desse tipo de queijo.

5 Iogurtes comerciais são produzidos a partir de leite desnatado concentrado, obtido por evaporação a vácuo. O leite é inoculado com uma mistura das bactérias *Streptococcus thermophilus* e *Lactobacillus bulgaricus* e incubado a 45 °C por várias horas. Durante esse tempo, o estreptococo produz ácido láctico a partir da fermentação da lactose do leite; o lactobacilo, por sua vez, produz a maior parte das substâncias que conferem cremosidade, sabor e aroma característicos do iogurte. Um dos segredos da fabricação de um bom iogurte é o equilíbrio entre a multiplicação dessas duas espécies de bactéria; em certos casos, leveduras também podem participar do processo.

6 O sabor característico da manteiga resulta da atividade de uma espécie de estreptococo, que libera uma substância chamada acetoina, presente também em alguns iogurtes. A produção de certos embutidos de carne, como o salame, demanda a ação fermentativa de bactérias do gênero *Pediococcus*, cuja produção de ácido láctico contribui para o sabor e para a elevada capaci-

DORLING KINDERSLEY/GETTY IMAGES

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

dade de conservação desses alimentos. Vinagres são, em geral, produzidos por ação de bactérias fermentadoras, principalmente dos gêneros *Acetobacter* e *Acetomonas*, que convertem etanol em ácido acético, processo conhecido como fermentação acética. (Fig. 9.13)

7 A fermentação também está envolvida na produção de outros tipos de alimentos, como o chocolate, por exemplo. As sementes de frutos do cacau recém-colhidos têm seus carboidratos fermentados primeiramente por leveduras e, em seguida, por bactérias lácticas e acéticas. Em seguida, as sementes são secadas, torradas e processadas. A fermentação é necessária para que se formem as substâncias que dão o sabor típico do chocolate. O molho de soja, ingrediente indispensável na culinária chinesa e japonesa, é produto da fermentação de açúcares e outros compostos de sementes de soja pelo fungo *Aspergillus oryzae*. (Fig. 9.14)

8 A aplicação em larga escala de processos fermentativos ganha cada vez mais destaque em decorrência do desenvolvimento econômico e aumento da demanda de energia e de insumos químicos. O programa brasileiro de produção de etanol combustível utiliza a fermentação do melaço de cana por leveduras do gênero *Saccharomyces*. Acetona e butanol, importantes solventes empregados na indústrias química e farmacêutica, são produzidos na fermentação de melaço de cana pela bactéria *Clostridium acetobutylicum*. O ácido cítrico, largamente empregado pela indústria de refrigerantes, é produzido pela fermentação do melaço de cana por bactérias do gênero *Aspergillus*.

PAUL CHINN/SAN FRANCISCO CHRONICLE/CORBIS/ISTOCK



Figura 9.14 A fermentação das sementes de frutos do cacau é um processo necessário na produção do chocolate.



Figura 9.13 Iogurte, queijo e manteiga são exemplos de alimentos produzidos a partir da fermentação do leite.

FERNANDO FAVORETTO/CIAR IMAGEM

GUIA DE LEITURA

1. Leia o primeiro e o segundo parágrafos do quadro, que se referem à panificação. Sobre a produção de pão, responda: a) qual é o agente fermentador? b) trata-se de um fungo ou de uma bactéria? c) qual é o substrato fermentado? d) qual ou quais são os produtos de interesse, nesse caso?
2. Leia o terceiro parágrafo, que trata da fabricação de bebidas alcoólicas. Utilize os mesmos critérios do item anterior, de a) a d), para fazer uma tabela que relacione os seguintes produtos da fermentação tratados no texto: cerveja, vinho, tequila, saquê. Atenção: você continuará a completar essa tabela nos itens a seguir; deixe espaço disponível para mais cinco linhas.
3. Leia o quarto e o quinto parágrafos do quadro, que se referem à fermentação na produção de laticínios. Responda: a) qual é a função da enzima renina na fabricação de queijos? b) continue a completar a tabela que você fez no item anterior, acrescentando os seguintes produtos da fermentação: queijo suíço, iogurte.
4. Leia o sexto parágrafo e continue a completar a tabela, acrescentando mais um produto: vinagre.
5. No parágrafo de número 7, mais informações para você completar sua tabela com os seguintes produtos da fermentação: chocolate, shoyu.
6. Leia o oitavo e último parágrafo do quadro, que comenta a importância da fermentação na indústria de álcool e de outras substâncias produzidas em larga escala. Você está informado sobre o projeto governamental (Proálcool) de produção de combustível? Considere esse tema em uma futura pesquisa.

Fotossíntese

1 Aspectos gerais da fotossíntese

Fotossíntese (do grego *photos*, luz, e *syntithenai*, juntar, produzir) é um processo celular pelo qual a maioria dos seres autotróficos produz substâncias orgânicas, geralmente glicídios (açúcares). Na fotossíntese, energia luminosa transforma-se em energia potencial química, armazenada nas moléculas de glicídios produzidas no processo. No tipo mais comum de fotossíntese, os reagentes são gás carbônico (CO_2) e água (H_2O) e os produtos formados são glicídios e gás oxigênio (O_2); esse tipo de fotossíntese ocorre em plantas, algas e certas bactérias (cianobactérias e proclorófitas).

Quase todo o gás oxigênio existente na atmosfera atual da Terra – cerca de 21% do volume do ar atmosférico – foi produzido na fotossíntese. De acordo com os cálculos dos cientistas, a cada 2 mil anos, todo o gás oxigênio da atmosfera terrestre é renovado pela atividade fotossintética realizada pelas plantas, algas, bactérias proclorófitas e cianobactérias.

A fotossíntese garante aos seres autotróficos autossuficiência em termos de nutrição orgânica*. Os glicídios produzidos na fotossíntese são utilizados como fonte de energia e de matéria-prima para a síntese de todos os componentes orgânicos dos seres autotróficos, tais como proteínas, lipídios, ácidos nucleicos etc. Os seres heterotróficos, por sua vez, dependem dos autotróficos para obter a energia e a matéria-prima necessárias à constituição e funcionamento de seus corpos. Ou seja, os fungos, muitas bactérias e todos os animais, inclusive nossa espécie, dependem dos seres fotossintetizantes para viver. (Fig. 9.15)

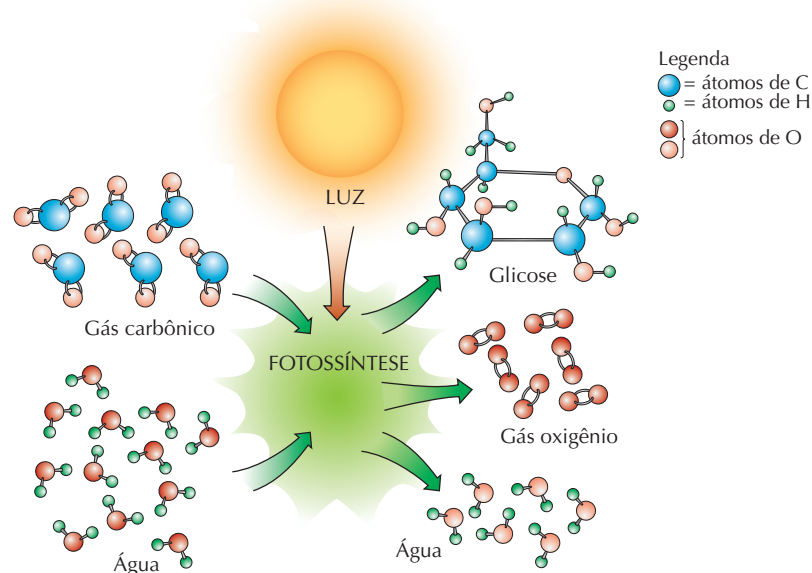


Figura 9.15 Representação esquemática da fotossíntese. Os átomos de oxigênio (O) estão representados em duas tonalidades diferentes para mostrar que todos os átomos presentes no gás oxigênio (O_2) são provenientes da água (H_2O). Embora a glicose seja normalmente representada como produto final da fotossíntese, muito pouca glicose livre é formada. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)

* Nutrição orgânica refere-se às substâncias orgânicas componentes do alimento de um ser vivo; nutrição inorgânica refere-se à absorção de substâncias inorgânicas (nutrientes minerais) a partir do ambiente.

Habilidades sugeridas

- Conhecer e compreender as principais etapas da fotossíntese (fotólise da água, fotofosforilação e ciclo das pentoses), identificando os locais da célula eucariótica onde elas ocorrem.
- Explicar o papel da água como reagente no processo da fotossíntese.
- Conhecer o processo de fixação de carbono por meio do ciclo das pentoses.

Conceitos principais

- fotossíntese
- cloroplasto
- clorofila
- fotólise da água
- cadeia transportadora de elétrons
- teoria da quimiosmose
- fotofosforilação

Cloroplasto, a sede da fotossíntese

Nas plantas e nas algas, a fotossíntese ocorre no interior dos **cloroplastos**, organelas citoplasmáticas que contêm o pigmento **clorofila**, responsável pela cor verde típica das folhas das plantas. A clorofila, em associação com proteínas de membranas, é capaz de absorver energia luminosa e transformá-la em energia potencial química, armazenada nas moléculas orgânicas produzidas.

O cloroplasto é delimitado por duas membranas lipoproteicas, comparáveis às membranas mitocondriais. A clorofila está associada apenas à membrana interna, denominada **membrana tilacoide**, que apresenta inúmeras dobras em forma de tubos e bolsas achatadas. Essas bolsas geralmente se organizam em pilhas membranosas, denominadas **grana**, que preenchem o interior do cloroplasto. (Fig. 9.16)

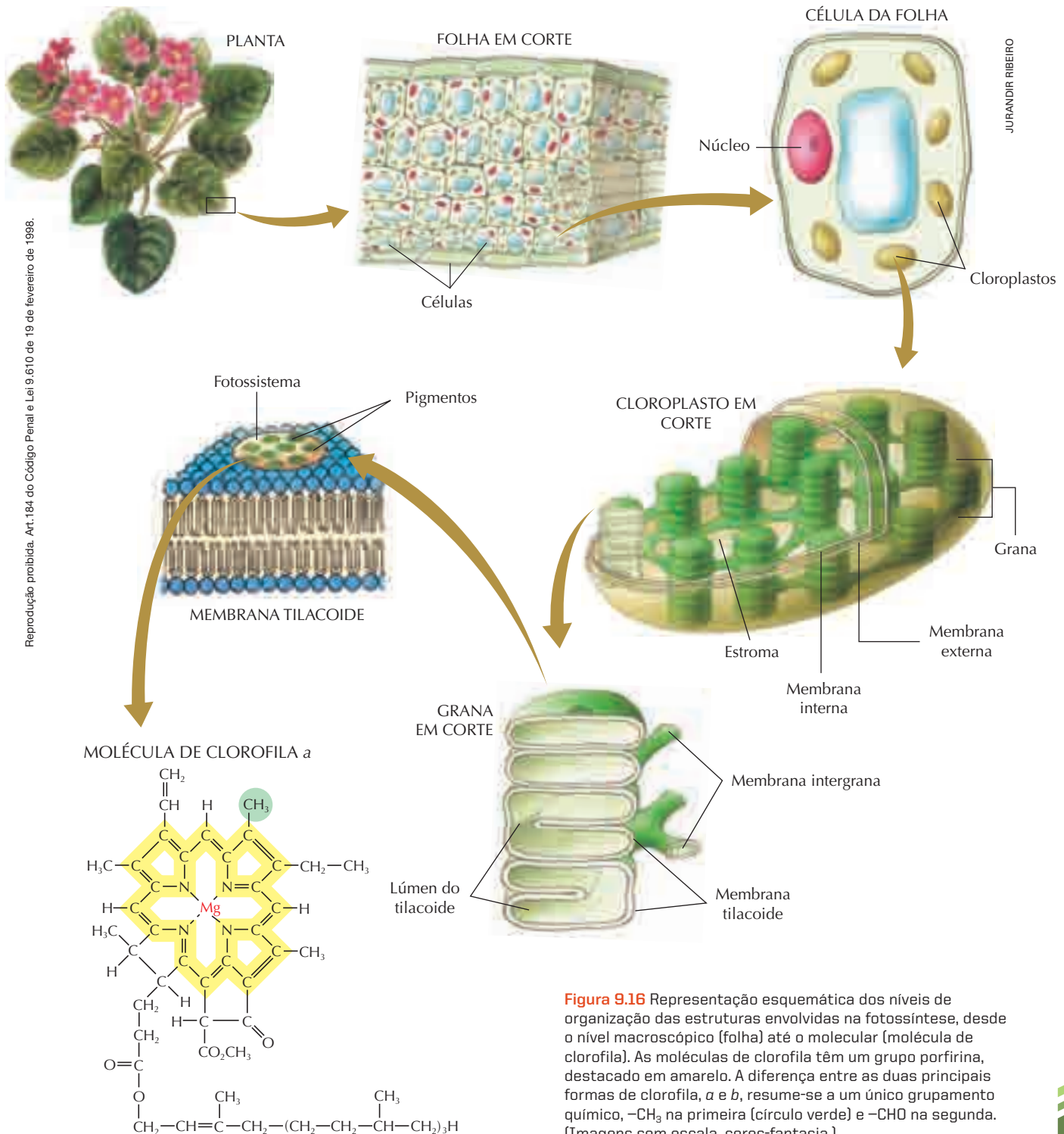


Figura 9.16 Representação esquemática dos níveis de organização das estruturas envolvidas na fotossíntese, desde o nível macroscópico (folha) até o molecular (molécula de clorofila). As moléculas de clorofila têm um grupo porfirina, destacado em amarelo. A diferença entre as duas principais formas de clorofila, *a* e *b*, resume-se a um único grupamento químico, $-\text{CH}_3$ na primeira (círculo verde) e $-\text{CHO}$ na segunda. [Imagens sem escala, cores-fantasia.]

As cavidades internas dos tubos e bolsas dos *grana* comunicam-se entre si, formando um compartimento único, o **lúmen do tilacoide**. Externamente à membrana tilacoide, o restante do cloroplasto é preenchido por um fluido conhecido como **estroma**.

As bactérias fotossintetizantes, apesar de não possuírem cloroplastos, têm sistemas membranosos no citoplasma cuja organização lembra a dos cloroplastos de plantas e de algas.

3 Etapas da fotossíntese

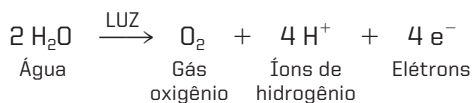
A fotossíntese das plantas pode ser dividida em quatro etapas: 1ª) absorção de luz; 2ª) transporte de elétrons com redução de NADP^+ a NADPH ; 3ª) produção de ATP; 4ª) fixação de carbono, como é chamada a conversão de CO_2 em glicídios.

As três primeiras etapas da fotossíntese (absorção de luz, transporte de elétrons e produção de ATP) são catalisadas por enzimas que fazem parte da membrana tilacoide. Por sua vez, as reações de produção de glicídios a partir de CO_2 são catalisadas por enzimas dissolvidas no estroma do cloroplasto. Veremos, primeiramente, cada uma dessas etapas de modo simplificado e, em seguida, como elas interagem umas com as outras.

Absorção de luz

A fotossíntese tem início com a absorção de energia luminosa por moléculas de clorofila ligadas com proteínas da membrana tilacoide, formando os chamados complexos de antena. A luz absorvida “excita”, isto é, transfere energia para alguns elétrons da clorofila; estes, agora com alta energia, saem da clorofila e são capturados por uma substância aceptora de elétrons, denominada aceptor Q. Ao mesmo tempo, a clorofila recupera os elétrons perdidos a partir da decomposição de moléculas de água.

A reação de decomposição da água associada à excitação da clorofila pela luz foi descoberta em 1937 pelo bioquímico inglês Robert Hill (1899-1991) e denominada **fotólise da água** (do grego *photos*, luz, e *lyse*, quebra); ela é conhecida também como **reação de Hill**, em homenagem a seu descobridor. Na fotólise, moléculas de água decompõem-se em prótons (íons H^+), elétrons (e^-) e átomos livres de oxigênio. Os elétrons liberados repõem os que foram perdidos pela clorofila; os átomos de oxigênio unem-se dois a dois, produzindo moléculas de gás oxigênio (O_2), liberadas para o meio; os íons H^+ terão diversos destinos, como veremos mais adiante. A reação de fotólise da água pode ser escrita da seguinte maneira:



Transporte de elétrons

Os elétrons da clorofila, ao serem excitados pela luz, adquirem alto nível de energia e “saltam” para fora da molécula. Eles são inicialmente capturados, como já dissemos, por uma substância aceptora denominada aceptor Q. Esse primeiro aceptor transfere, então, os elétrons para um segundo aceptor, que o transfere para um terceiro, e assim por diante, no que se denomina **cadeia transportadora de elétrons**, semelhante às existentes nas mitocôndrias.

Os elétrons, ao serem transferidos sequencialmente de um aceptor para outro em uma cadeia transportadora, liberam, a cada passo, parte da energia que havia sido originalmente captada da luz. O último aceptor de elétrons no cloroplasto é a substância denominada **fosfato de dinucleotídeo de nicotinamida-adenina**, mais conhecido pela sigla **NADP^+** (do inglês *Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphate*). Essa substância difere do NAD da mitocôndria por apresentar um grupo fosfato no lugar de um H.

Se reunirmos em uma única equação a fotólise da água e o transporte de elétrons pela cadeia transportadora, teremos:



Produção de ATP

A energia que os elétrons liberam em sua passagem pelas cadeias transportadoras é utilizada para “forçar” o transporte de prótons (H^+) do estroma do cloroplasto para dentro do lúmen do tilacoide. À medida que aumenta a concentração de íons H^+ no interior do tilacoide, eles tendem a se difundir de volta ao estroma, mas só podem fazê-lo se passarem pelas sintases do ATP presentes na membrana tilacoide. A sintase do ATP funciona como um motor molecular rotatório como previsto pela **teoria da quimiosmose**; à medida que gira pela passagem de íons H^+ através dela, a sintase do ATP mobiliza energia para a produção de ATP a partir de ADP e P_i .

Na fotossíntese, a energia utilizada no bombeamento de íons H^+ para o lúmen do tilacoide vem da luz; por isso, essa forma de produção de ATP no cloroplasto é chamada de **fotofosforilação**.

Fixação do carbono

O NADPH e o ATP produzidos nas etapas iniciais da fotossíntese fornecem, respectivamente, hidrogênios e energia para a produção de glicídios a partir do gás carbônico. Os bioquímicos denominam **fixação do carbono** essa transformação em que o carbono do gás carbônico passa a constituir moléculas orgânicas.

A fixação do carbono na fotossíntese dá-se por meio de uma série de reações químicas que compõem o **ciclo de Calvin-Benson**. Esta última denominação é uma homenagem aos pesquisadores estadunidenses Melvin Calvin e Andy Benson, que elucidaram as principais reações do processo.

O ciclo de Calvin-Benson (ou ciclo de Calvin) ocorre no estroma do cloroplasto e no citosol das bactérias fotossintetizantes. Esse ciclo compreende uma série de reações químicas sequenciais, das quais participam o NADPH e o ATP produzidos nas fotofosforilações. Nesse processo, 6 moléculas de CO_2 reagem com 6 moléculas de 1,5-bifosfato de ribulose, conhecida pela sigla **RuBP** (do inglês *ribulose 1,5-bisphosphate*), e produzem ao final 2 moléculas da substância gliceraldeído-3-fosfato (PGAL), além de regenerar as 6 moléculas de RuBP. (Fig. 9.17)

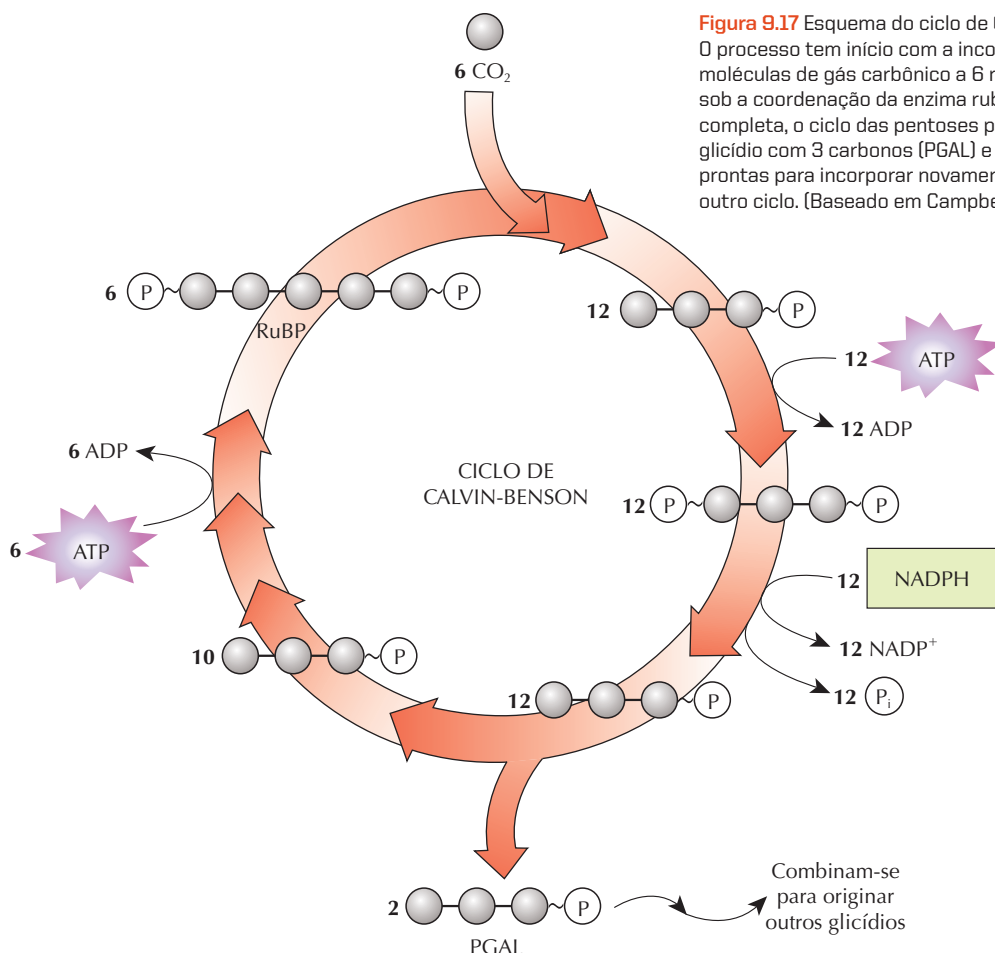
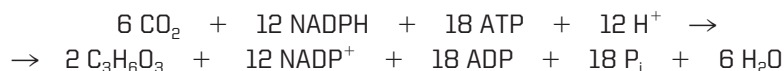


Figura 9.17 Esquema do ciclo de Calvin-Benson. O processo tem início com a incorporação de 6 moléculas de gás carbônico a 6 moléculas de RuBP, sob a coordenação da enzima rubisco. A cada volta completa, o ciclo das pentoses produz 2 moléculas de glicídio com 3 carbonos (PGAL) e 6 moléculas de RuBP, prontas para incorporar novamente CO_2 e reiniciar outro ciclo. (Baseado em Campbell, N. e cols., 1999.)

A reação entre o CO_2 e a 1,5-bifosfato de ribulose (fixação do carbono) é catalisada por uma enzima denominada **rubisco**. Essa enzima constitui 50% do total de proteínas do cloroplasto e acredita-se que seja a proteína mais abundante na Terra.

A equação que resume o ciclo das pentoses é apresentada a seguir:



Reações de claro e reações de escuro na fotossíntese

As etapas que precedem a fixação do carbono – fotólise da água, transporte de elétrons com produção de NADPH e síntese de ATP – dependem diretamente da luz para ocorrer. Por isso, elas são chamadas de **etapas fotoquímicas** da fotossíntese, ou **reações de claro**. Já a fixação do carbono depende apenas indiretamente da luz, pois, se há ATP e NADPH disponíveis, ela ocorre mesmo no escuro. Por isso, essa etapa final da fotossíntese é conhecida como **etapa puramente química**, ou fase enzimática, e as reações que a constituem são denominadas **reações de escuro**. Entretanto, essa última denominação deve ser empregada com ressalvas, pois pode passar a ideia errônea de que a síntese de glicídios tem de ocorrer necessariamente no escuro.

Devido principalmente à etapa química, ou enzimática, a fotossíntese é altamente influenciada pela temperatura. Em temperaturas muito altas, em geral acima de 50°C , há um decréscimo acentuado da atividade fotossintética que decorre da desnaturação das enzimas que catalisam as reações do processo.

A figura a seguir resume o processo da fotossíntese no interior de um cloroplasto. No ciclo das pentoses, átomos de hidrogênio provenientes das moléculas de H_2O e temporariamente armazenados no NADPH reagem com moléculas de CO_2 , produzindo moléculas de glicídio. Para que essas reações ocorram, é necessário energia, fornecida pelo ATP originado nas fotofosforilações. A luz não participa diretamente do ciclo de Calvin-Benson, bastando que a célula fotossintetizante esteja abastecida de ATP, NADPH e CO_2 . Por isso, essa etapa da fotossíntese é denominada etapa puramente química, ou fase de reações de escuro da fotossíntese, como já foi comentado. (Fig. 9.18)

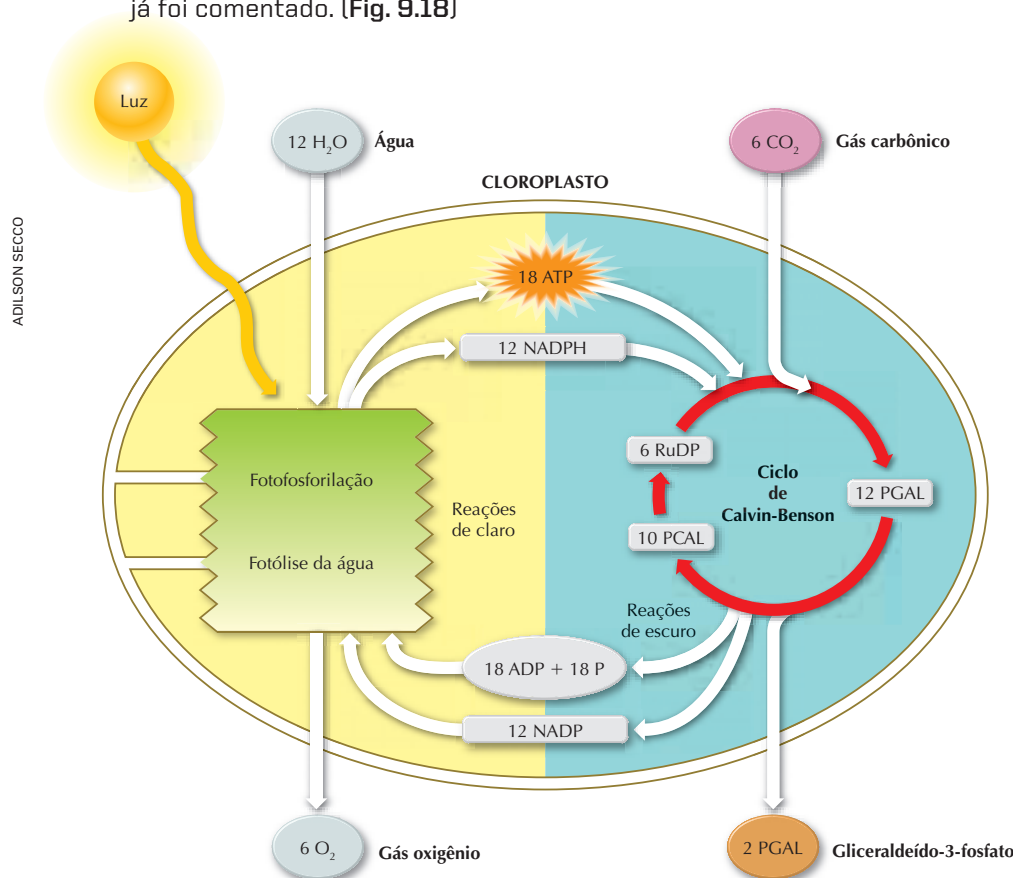


Figura 9.18
Representação esquemática de um cloroplasto, mostrando, à esquerda, a etapa fotoquímica da fotossíntese (reações de claro) e, à direita, a etapa puramente química (reações de escuro). (Imagem sem escala, cores-fantasia.) (Baseado em Campbell, N. e cols., 1999.)

Destino dos produtos do ciclo das pentoses

As moléculas de gliceraldeído-3-fosfato (PGAL) formadas no ciclo de Calvin-Benson podem seguir dois caminhos: a maioria sai do cloroplasto e transforma-se em sacarose, no citosol; as que permanecem no cloroplasto são convertidas diretamente em amido e armazenadas temporariamente (durante o dia) no estroma, formando grãos de amido. Durante a noite, o amido é transformado em sacarose e sai para o citosol, de onde é exportado pelo floema para as demais partes da planta. Assim, o principal produto da fotossíntese das plantas é a sacarose, apesar de ser comum a utilização de equações simplificadas em que aparece glicose como produto direto da fotossíntese.

Parte dos glicídios produzidos na fotossíntese é utilizada imediatamente nas mitocôndrias da célula vegetal, no processo de respiração celular, fornecendo energia aos processos vitais. Outra parte é transformada nas diversas substâncias orgânicas de que a planta necessita, como aminoácidos, vários tipos de açúcar (dentre eles a glicose), gorduras, celulose etc. Outra parte, ainda, é armazenada na forma de grãos de amido em células especiais do caule e da raiz, servindo como reserva para momentos de necessidade.

A fotossíntese garante às algas, às plantas e a algumas bactérias independência em relação a outros organismos vivos no que se refere à obtenção de nutrientes orgânicos. A absoluta maioria dos seres heterotróficos, porém, depende de substâncias orgânicas produzidas por seres fotossintetizantes para viver.

Seção 9.6

Quimiossíntese

» Habilidade sugerida

- Conceituar o processo de quimiossíntese, distinguindo-o dos processos de fotossíntese e de respiração aeróbica, respectivamente.

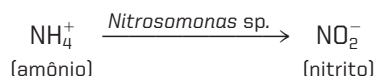
» Conceito principal

- quimiossíntese

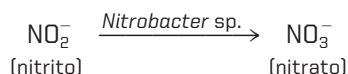
Certas espécies de bactérias e de arqueas (estas últimas antigamente chamadas de arqueobactérias) são autotróficas e produzem substâncias orgânicas por meio da **quimiossíntese**, processo que utiliza energia liberada por reações oxidativas de substâncias inorgânicas simples. Arqueas metanogênicas, por exemplo, obtêm energia a partir da reação entre gás hidrogênio (H_2) e gás carbônico (CO_2), com produção de gás metano (CH_4). Essas arqueas vivem em ambientes pobres em gás oxigênio (anaeróbios), tais como depósitos de lixo, fundos de pântanos e tubos digestórios de animais. A equação que resume esse processo é:



Há dois importantes tipos de bactérias quimiossintetizantes – gêneros *Nitrosomonas* e *Nitrobacter* – que vivem no solo e têm importância fundamental na reciclagem do elemento nitrogênio na Terra. As nitrosomonas obtêm energia por meio da oxidação de íon de amônio presente no solo, transformando-o em íon de nitrito:



As nitrobactérias, por sua vez, utilizam o íon de nitrito, oxidando-o a íon de nitrato:



As bactérias quimiossintetizantes conseguem viver em ambientes desprovidos de luz e de matéria orgânica, uma vez que a energia necessária ao seu desenvolvimento é obtida de oxidações inorgânicas. Além de um agente oxidante, elas necessitam apenas de gás carbônico e água, que constituem as matérias-primas para a produção de glicídios.

QUESTÕES PARA PENSAR E DISCUTIR

Questões objetivas

- O trifosfato de adenosina (ATP) é um
 - ácido nucleico.
 - lipídio.
 - monossacarídeo.
 - nucleotídeo.
- Qual das alternativas indica corretamente os compartimentos de uma célula eucariótica onde ocorrem as etapas da respiração celular: glicólise, ciclo de Krebs e fosforilação oxidativa?
 - Citosol Mitocôndria Citosol
 - Mitocôndria Citosol Citosol
 - Mitocôndria Citosol Mitocôndria
 - Mitocôndria Mitocôndria Mitocôndria
- A fonte imediata de energia que permite a síntese do ATP na fosforilação oxidativa é
 - a oxidação da glicose e de outras substâncias orgânicas.
 - a passagem de elétrons pela cadeia respiratória.
 - a diferença de concentração de íons H^+ entre os ambientes separados pela membrana mitocondrial interna.
 - a transferência de fosfatos de alta energia do ciclo de Krebs para o ADP.
- A maior parte do CO_2 produzido no metabolismo das células musculares, durante uma atividade leve, é liberado durante
 - a glicólise.
 - o ciclo de Krebs.
 - a fermentação láctica.
 - a fosforilação oxidativa.
- Que etapa metabólica ocorre tanto na respiração celular quanto na fermentação?
 - Transformação do ácido pirúvico em ácido láctico.
 - Produção de ATP por fosforilação oxidativa.
 - Ciclo de Krebs.
 - Glicólise.
- Fisiologistas esportivos em um centro de treinamento olímpico desejam monitorar os atletas para determinar a partir de que ponto seus músculos passavam a trabalhar anaerobicamente. Eles podem fazer isso investigando o aumento, nos músculos, de
 - ATP.
 - ADP.
 - gás carbônico.
 - ácido láctico.

Considere as alternativas a seguir para responder às questões de 7 a 9.

 - Ciclo de Calvin-Benson.
 - Etapas fotoquímica da fotossíntese.
 - Etapas puramente química da fotossíntese.
 - Fotofosforilação.
 - Fotólise da água.
- Como é chamado o conjunto de reações químicas que ocorre no estroma do cloroplasto, em que o gás carbônico se combina com hidrogênios doados pelo NADPH produzindo glicídios?
 - energia luminosa.
 - CO_2 e ATP.
 - H_2O e CO_2 .
 - NADPH e ATP.
- Qual é o nome da reação em que moléculas de água produzem gás oxigênio, prótons e elétrons, sendo estes últimos devolvidos à clorofila *a* excitada pela luz?
 - degradação de moléculas de ATP.
 - fixação de moléculas de gás carbônico.
 - quebra de moléculas de água.
 - degradação de moléculas de glicose.
- Como se denomina o conjunto de reações químicas que ocorre no interior dos cloroplastos e que depende diretamente de luz?
 - degradação de moléculas de ATP.
 - fixação de moléculas de gás carbônico.
 - quebra de moléculas de água.
 - degradação de moléculas de glicose.
- Os átomos do gás oxigênio liberado na fotossíntese provêm
 - da água, apenas.
 - do gás carbônico, apenas.
 - da água e do gás carbônico, apenas.
 - da água, do gás carbônico e do ATP.
- A molécula de clorofila, ao absorver fótons, perde elétrons, os quais são repostos pela
 - degradação de moléculas de ATP.
 - fixação de moléculas de gás carbônico.
 - quebra de moléculas de água.
 - degradação de moléculas de glicose.
- Qual das seguintes sequências indica corretamente o fluxo de elétrons durante a fotossíntese?
 - $H_2O \rightarrow NADPH \rightarrow$ glicídio
 - $H_2O \rightarrow O_2 \rightarrow$ glicídio
 - $NADPH \rightarrow ATP \rightarrow$ glicídio
 - $O_2 \rightarrow NADPH \rightarrow$ glicídio
- A energia liberada pelos elétrons, durante sua passagem pela cadeia transportadora de elétrons do cloroplasto, é usada primariamente para bombear íons H^+
 - do citosol para o lúmen do tilacoide.
 - do lúmen do tilacoide para o citosol.
 - do lúmen do tilacoide para o estroma do cloroplasto.
 - do estroma do cloroplasto para o lúmen do tilacoide.
- A fonte imediata de energia que permite a síntese do ATP na fotofosforilação é
 - a quebra das moléculas de água.
 - a passagem de elétrons através da cadeia transportadora de elétrons.
 - a diferença de concentração de íons H^+ entre o interior dos tilacoides e o estroma.
 - a transferência de fosfatos energizados do ciclo de Calvin-Benson para o ADP.
- Qual das alternativas apresenta substâncias produzidas em reações que acontecem nos grana e que são consumidas em reações que acontecem no estroma dos cloroplastos?
 - CO_2 e H_2O .
 - ATP e NADPH.
 - CO_2 e ATP.
 - H_2O e NADPH.
- As reações da etapa fotoquímica da fotossíntese (reações de claro) suprem o ciclo de Calvin-Benson com
 - energia luminosa.
 - CO_2 e ATP.
 - H_2O e CO_2 .
 - NADPH e ATP.

Questões discursivas

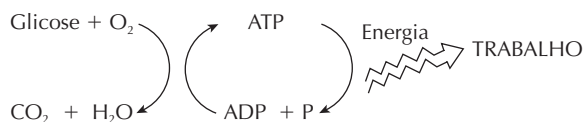
- Na década de 1940, alguns médicos passaram a prescrever doses baixas de uma droga chamada di-nitrofenol (DNP) para ajudar pacientes a emagrecer. Esse tratamento foi abandonado após a morte de alguns pacientes. Hoje sabemos que o DNP torna a membrana interna da mitocôndria permeável à passagem de íons H^+ . Com base no que você aprendeu sobre metabolismo energético, explique que consequências o uso de DNP acarretaria.
- A equação química simplificada:

$$6 CO_2 + 6 H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6 O_2$$
omite uma informação importante sobre o processo de fotossíntese. Qual é essa informação?
- Faça uma lista de argumentos que você usaria para tentar convencer uma amiga ou um amigo de que os seres humanos dependem da luz solar para viver.

VESTIBULARES PELO BRASIL

Questões objetivas

- (UFPA) O processo de respiração celular é responsável pelo(a)
 - consumo de dióxido de carbono e liberação de oxigênio para as células.
 - síntese de moléculas orgânicas ricas em energia.
 - redução de moléculas de dióxido de carbono em glicose.
 - incorporação de moléculas de glicose e oxidação de dióxido de carbono.
 - liberação de energia para as funções vitais celulares.
- (Unifor-CE) O esquema seguinte mostra de modo simplificado um tipo de reação celular metabólica.



O processo representado é

- respiração anaeróbia.
 - respiração aeróbia.
 - quimiossíntese.
 - fotossíntese.
 - glicólise.
- (Unifor-CE) A reação química a seguir esquematiza o processo da fermentação alcoólica.



A indústria utiliza esse processo na fabricação de

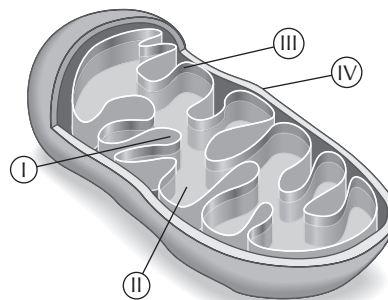
- vinho.
 - iogurte.
 - coalhada.
 - vinagre.
 - picles.
- (UFMS) As mitocôndrias são corpúsculos citoplasmáticos, em geral com forma de bastonetes, extremamente importantes para o funcionamento celular, pois são responsáveis pela
 - respiração, nas plantas e animais.
 - fermentação, nos animais.

- síntese proteica.
- síntese de açúcar.
- fotossíntese, nas plantas.

- (UCG-GO-Adaptado) Avalie se a afirmação é verdadeira ou falsa.

A fermentação láctica consiste na oxidação anaeróbia parcial de hidratos de carbono, com a produção final de ácido láctico, além de várias outras substâncias orgânicas. É um processo microbiano de grande importância utilizado pelo homem na produção de laticínios, como queijos, manteiga e coalhada.

- (UPF-RS) As mitocôndrias são estruturas citoplasmáticas responsáveis pela respiração celular. Analise a figura a seguir, que representa uma mitocôndria, considerando que I = crista mitocondrial, II = matriz mitocondrial, III = membrana interna e IV = membrana externa.

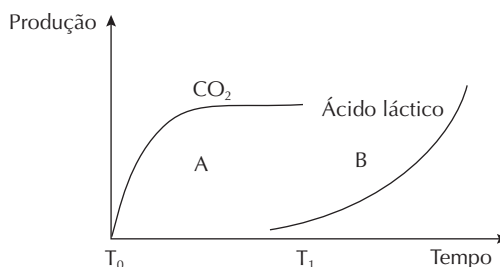


ADILSON SECCO

Nas estruturas indicadas pelos números I e II, ocorrem, respectivamente,

- o ciclo de Krebs e a cadeia transportadora de elétrons.
 - a glicólise e o ciclo de Krebs.
 - a cadeia transportadora de elétrons e a glicólise.
 - a cadeia transportadora de elétrons e o ciclo de Krebs.
 - a glicólise e a cadeia transportadora de elétrons.
- (UFRGS-RS) As células animais para a produção de energia necessitam de oxigênio, enzimas e substrato. Em relação ao processo de produção de energia, considere as afirmações abaixo.
 - A fosforilação oxidativa ocorre nas mitocôndrias.
 - Na fase aeróbia, ocorre alta produção de ATP.
 - A glicólise possui uma fase aeróbia e outra anaeróbia.
 Quais estão corretas?
 - Apenas I.
 - Apenas II.
 - Apenas I e II.
 - Apenas II e III.
 - I, II e III.

- (UEL-PR-Adaptado) No gráfico a seguir, observa-se a produção de CO_2 e ácido láctico no músculo de um atleta que está realizando atividade física.



ADILSON SECCO

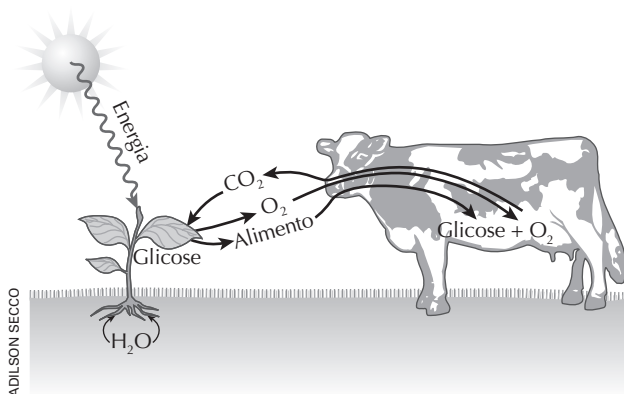
Sobre a variação da produção de CO_2 e ácido láctico em A e B, analise as seguintes afirmativas.

- I. A partir de T_1 o suprimento de O_2 no músculo é insuficiente para as células musculares realizarem respiração aeróbia.
- II. O CO_2 produzido em A é um dos produtos da respiração aeróbia, durante o processo de produção de ATP (trifosfato de adenosina) pelas células musculares.
- III. Em A as células musculares estão realizando respiração aeróbia e em B, um tipo de fermentação.
- IV. A partir de T_1 a produção de ATP pelas células musculares deverá aumentar.

Das afirmativas acima, quais são corretas?

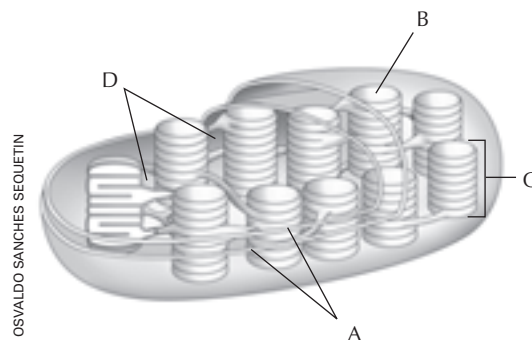
- a) Apenas I e II.
- b) Apenas III e IV.
- c) Apenas I, II e III.
- d) Apenas I, II e IV.
- e) Apenas II, III e IV.

9. (Unifacs-BA) A figura representa o fluxo da matéria e da energia em uma cadeia alimentar simples.



A partir da análise dessa cadeia alimentar, pode-se concluir:

- a) A água na planta fornece o O_2 utilizado na respiração do animal.
 - b) A energia do Sol quebra a molécula da glicose em CO_2 e em O_2 .
 - c) O produtor primário libera O_2 , que será integrado à molécula de glicose.
 - d) A planta e o animal estão no mesmo nível trófico da cadeia alimentar.
 - e) O consumidor primário libera a energia do CO_2 para o meio na forma de calor.
10. (Uespi) O cloroplasto é uma “fábrica” que produz um combustível valioso para as células vivas, a partir de substâncias simples, aqui chamadas de “matérias-primas”. Determine a alternativa que indica corretamente as matérias-primas e as substâncias produzidas no processo em consideração, nesta ordem.
- a) H_2O , CO_2 , glicose e O_2
 - b) CO_2 , O_2 , glicose e proteína
 - c) H_2O , O_2 , glicose e proteína
 - d) O_2 , CO_2 , proteína e H_2O
 - e) Proteína, CO_2 , H_2O e O_2
11. (UFPE-Adaptado) O cloroplasto, organela citoplasmática na qual ocorre a fotossíntese, apresenta duas membranas que o envolvem e inúmeras bolsas membranosas. A respeito do cloroplasto representado na figura, analise as afirmativas a seguir.



1. É envolto por duas membranas de constituição lipoproteica (A) e possui internamente um elaborado sistema de bolsas membranosas, interligadas, cada uma chamada tilacoide (B).
2. Apresenta estruturas que lembram pilhas de moedas, sendo cada pilha denominada grana (C).
3. Contém moléculas de clorofila organizadas nos tilacoides (B) e, no espaço interno do cloroplasto, fica o estroma (D).

Qual(is) afirmativa(s) está(ão) correta(s)?

- a) 1 apenas.
- b) 1 e 2 apenas.
- c) 1, 2 e 3.
- d) 2 e 3 apenas.
- e) 3 apenas.

12. (Unifor-CE) Considere as afirmações abaixo referentes ao processo de fotossíntese.

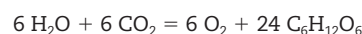
- I. A etapa fotoquímica ocorre nos tilacoides e a etapa química ocorre no estroma dos cloroplastos.
- II. O CO_2 utilizado participa ativamente da produção de carboidrato durante a etapa fotoquímica.
- III. Na fotólise da água, ocorre quebra da molécula de H_2O sob ação da luz.
- IV. A etapa química ocorre sem necessidade direta de luz.

É correto o que se afirma em

- a) I e II somente.
- b) I, III e IV somente.
- c) II e III somente.
- d) III e IV somente.
- e) I, II, III e IV.

13. (UCG-GO-Adaptado) Avalie se a afirmação é verdadeira ou falsa.

A fotossíntese acontece em organismos autotróficos que precisam produzir seu próprio alimento, transformando a energia luminosa em energia química. De forma simplificada, pode-se dizer que a fotossíntese acontece conforme a seguinte equação:



14. (UFF-RJ) As plantas realizam um fenômeno biológico que é descrito de forma poética no trecho da letra da música de Caetano Veloso:

“Luz do sol
que a folha traga e traduz
em verde novo

EM FOLHA EM GRAÇA EM VIDA EM FORÇA EM LUZ”

Determine a opção que contém a fórmula química correta, que representa o fenômeno biológico descrito.

- $C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \xrightarrow{Luz} 6 H_2O + 6 CO_2$
- $6 H_2O + 6 CO_2 \xrightarrow{Luz} C_6H_{12}O_6 + 6 O_2$
- $2 H_2O + 6 CO_2 \xrightarrow{Luz} C_6H_4O_6 + 8 CO$
- $6 H_2O + 6 CO \xrightarrow{Luz} C_6H_{12}O_6 + 3 O_2$
- $C_6H_8O_{16} + 2 H_2O \xrightarrow{Luz} 6 H_2O + 6 CO_2$

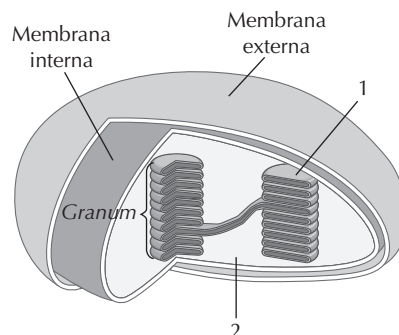
15. (Cesgranrio-RJ)



ADILSON SECCO

No experimento com elodea num tubo iluminado, o que são as bolhas?

- O_2 resultante de fotólise da água.
 - O_2 resultante da quebra da molécula de CO_2 .
 - CO_2 resultante do ciclo de Krebs.
 - CO_2 proveniente do ciclo de Calvin.
 - O_2 proveniente da fotofosforilação.
16. (Mackenzie-SP) O processo de fotossíntese é considerado em duas etapas: a fotoquímica ou fase de claro e a química ou fase de escuro. Na primeira fase, **não** ocorre
- produção de ATP.
 - produção de NADPH.
 - produção de O_2 .
 - fotólise da água.
 - redução do CO_2 .
17. (Unesp) Sobre o processo de fotossíntese, é correto afirmar que
- o CO_2 é fonte de carbono para a síntese de matéria orgânica e fonte de O_2 para a atmosfera.
 - a água é fonte de H^+ para a síntese de NADPH₂ e de O_2 para a atmosfera.
 - o NADPH₂ é fonte de energia para a conversão do CO_2 em matéria orgânica.
 - o ATP é doador de energia para a quebra da molécula de água, que por sua vez fornece O_2 para a atmosfera.
 - a conversão do CO_2 em matéria orgânica produz energia que é acumulada pelo ATP.
18. (U. São Judas-SP) Com relação ao fenômeno da fotossíntese, sabe-se que a reação:
- $$2 H_2O + 2 NADP \xrightarrow[\text{Clorofila}]{Luz} 2 NADPH_2 + O_2 \uparrow$$
- corresponde ao ciclo de Calvin.
 - corresponde à reação de Hill.
 - ocorre em estroma do cloroplasto.
 - é o resultado do ciclo de pentoses.
 - é o resultado do ciclo de Krebs.
19. (PUC-Minas) O processo fotossintético ocorre em duas etapas: a fase clara e a fase escura. Nas angiospermas, a fotossíntese ocorre nos cloroplastos. Observando-se o esquema dado, é correto afirmar, exceto:



ADILSON SECCO

- A fotólise da água ocorre em 1.
- A liberação de oxigênio ocorre em 2.
- A liberação de ATP e NADPH₂ ocorre em 1.
- A utilização de água e de CO_2 ocorre respectivamente em 1 e 2.

20. (Fuvest-SP) Dois importantes processos metabólicos são:

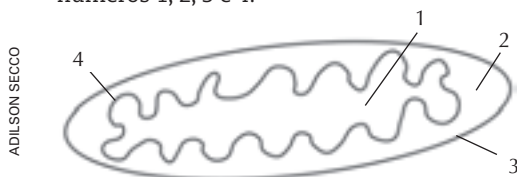
- Ciclo de Krebs, ou ciclo do ácido cítrico, no qual moléculas orgânicas são degradadas e seus carbonos, liberados como gás carbônico (CO_2).
- Ciclo de Calvin-Benson, ou ciclo das pentoses, no qual os carbonos do gás carbônico são incorporados em moléculas orgânicas.

Que alternativa indica corretamente os ciclos presentes nos organismos citados?

	Humanos	Plantas	Algas	Levedo
a)	I e II	I e II	I e II	apenas I
b)	I e II	apenas II	apenas II	I e II
c)	I e II	I e II	I e II	I e II
d)	apenas I	I e II	I e II	apenas I
e)	apenas I	apenas II	apenas II	apenas I

21. (Udesc) Determine a alternativa que indica **corretamente** a principal função da fotólise da água.
- Fornecer hidrogênio para ativar o complexo ATP sintetase e repor elétrons perdidos pelas moléculas de clorofila.
 - Quebrar glicose, produzindo oxigênio e ATP, para os seres aeróbios.
 - Produzir oxigênio, para ativar o sistema ATP sintetase.
 - Garantir a estabilidade molecular da água que circula nos vasos do xilema e do floema.
 - Garantir a oxidação da glicose.
22. (Ufac) A maioria dos seres vivos atuais obtém energia por meio da respiração celular, também chamada respiração aeróbia por utilizar o oxigênio atmosférico. Esse tipo de respiração compõe-se de três etapas: glicólise, ciclo de Krebs e cadeia respiratória. Indique corretamente em quais compartimentos da célula ocorrem as diferentes etapas da respiração.
- citosol, mitocôndria, mitocôndria
 - citosol, citosol, mitocôndria
 - mitocôndria, mitocôndria, citosol
 - mitocôndria, citosol, mitocôndria
 - citosol, mitocôndria, citosol

23. (Uerj) No esquema abaixo, os compartimentos e as membranas mitocondriais estão codificados pelos números 1, 2, 3 e 4.



Considere os seguintes componentes do metabolismo energético: citocromos, ATP sintetase e enzimas do ciclo de Krebs.

Esses componentes estão situados nas estruturas mitocondriais codificadas, respectivamente, pelos números

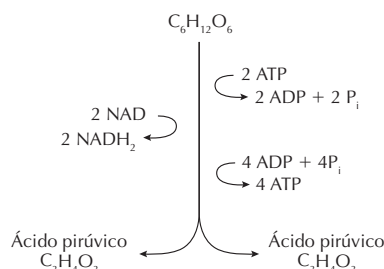
- a) 1, 2 e 4.
b) 3, 3 e 2.
c) 4, 2 e 1.
d) 4, 4 e 1.
24. (UFPI) A atmosfera terrestre contém uma grande quantidade de oxigênio e, na presença do oxigênio, a forma de carbono mais estável energeticamente é o CO_2 ; o mesmo ocorre com o hidrogênio e com a água. Assim, a célula é capaz de obter energia de açúcares e de outras moléculas orgânicas pela combinação dos átomos de carbono e de hidrogênio com oxigênio, para produzir CO_2 e H_2O , respectivamente, em um processo chamado de
- a) fotossíntese.
b) fotofosforilação.
c) respiração.
d) catálise.
e) fixação de carbono.
25. (Udesc) A fotossíntese é um processo de transformação de energia luminosa em energia química, realizada por organismos autotróficos. Sobre a fotossíntese, é **correto** afirmar:
- a) Ao final da fotossíntese, são produzidos 38 mols de ATP.
b) Os organismos autotróficos crescem mais sob a luz verde, porque a clorofila é verde.
c) A fotossíntese é um processo dependente de luz e ocorre na ausência da água.
d) Somente plantas vasculares são capazes de realizar a fotossíntese.
e) A unidade fotossintética da planta localiza-se nos tilacoides dos cloroplastos.
26. (Unioeste-PR) O processo fotossintético pode ser dividido em quatro etapas:
- Absorção de luz
 - Transporte de elétrons que leva à redução do NADP^+ a NADPH
 - Produção de ATP
 - Fixação de carbono, que é a conversão de CO_2 em glicídios

Determine a alternativa que corresponde à(s) etapa(s) que é(são) catalisada(s) por enzimas que fazem parte da membrana tilacoide do cloroplasto.

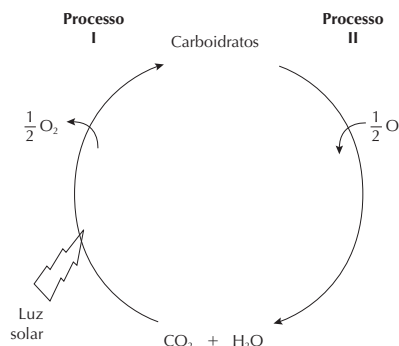
- a) I, II e IV.
b) I, II e III.
c) I, II, III e IV.
d) Apenas II.
e) Apenas IV.

Questões discursivas

27. (Fuvest-SP) Há um século, Louis Pasteur, investigando o metabolismo do levedo, um organismo anaeróbio facultativo, observou que, em solução de água e açúcar, esse microrganismo se multiplicava. Observou também que a multiplicação era maior quando a solução era aerada.
- a) Explique a importância do açúcar para o levedo.
b) Justifique a diferença do crescimento nas condições aeróbia e anaeróbia.
28. (UFMA) O esquema abaixo representa a primeira etapa da respiração aeróbia (glicólise). Após analisá-lo, responda:
- a) Em que local da célula ela ocorre?
b) Qual é o gasto energético dessa fase e qual é o saldo em ATPs?



29. (Fuvest-SP) No processo de fabricação do pão, um ingrediente indispensável é o fermento, constituído por organismos anaeróbios facultativos.
- a) Qual a diferença entre o metabolismo energético das células que ficam na superfície da massa e o metabolismo energético das células que ficam no seu interior?
b) Por que o fermento faz o pão crescer?
30. (Unicamp-SP) O processo de fermentação foi inicialmente observado no fungo *Saccharomyces*. Posteriormente, verificou-se que os mamíferos também podem fazer fermentação.
- a) Em que circunstância esse processo ocorre nos mamíferos?
b) Dê dois exemplos da importância do processo de fermentação para a obtenção de alimentos.
31. (UFG-GO) Na figura abaixo, estão esquematizados dois importantes processos celulares (I e II).
- De acordo com a figura, responda:
- a) Qual processo fisiológico está envolvido nas representações I e II respectivamente? Qual organela celular é especializada para a realização de cada processo?
b) Como os processos I e II estão envolvidos no fluxo energético de uma cadeia alimentar?



Capítulo 10

O controle gênico das atividades celulares

A descoberta do sistema de codificação genético, entre os anos 1960 e 1970, permitiu um salto gigantesco da Biologia rumo à compreensão mais ampla do fenômeno vida.

Neste capítulo estudaremos a natureza química dos genes, o tipo de informação que eles contêm e como atuam no controle das atividades celulares.

▶ 10.1 Natureza química dos genes

Todas as formas de vida em nosso planeta, com exceção de alguns vírus, têm suas informações genéticas codificadas na sequência de bases nitrogenadas do DNA.

▶ 10.2 Genes e RNA: a transcrição gênica

Gene é uma região particular da molécula de DNA capaz de transcrever seu código molecular para uma molécula específica de RNA.

▶ 10.3 Mecanismo de síntese das proteínas

Proteínas são substâncias essenciais às células vivas; muitas delas atuam como enzimas que comandam praticamente todos os processos vitais. Ao controlar a síntese das proteínas, os genes controlam as atividades celulares.

O modelo da dupla-hélice do DNA, idealizado por Watson e Crick no início da década de 1950, tem sido amplamente confirmado experimentalmente e é um dos ícones do século XXI.

NILSON CARDOSO

Natureza química dos genes

Habilidades sugeridas

- ▶ Reconhecer a existência de uma linguagem codificada da vida, que se perpetua pela duplicação das moléculas de DNA e que determina as características hereditárias por meio do controle das atividades celulares.
- ▶ Conhecer a estrutura da molécula de DNA e compreender a maneira pela qual ela armazena informação genética.
- ▶ Compreender que a duplicação semiconservativa do DNA permite a transmissão rigorosa das informações genéticas ao longo das gerações.

Conceitos principais

- gene
- DNA (ácido desoxirribonucleico)
- código genético
- duplicação semiconservativa do DNA
- polimerase do DNA

1 A descoberta do DNA

Há pouco mais de 50 anos, os cientistas descobriram que os **genes** – informações hereditárias passadas de geração a geração – são constituídos por **ácido desoxirribonucleico**, abreviadamente chamado de **DNA** (do inglês *desoxirribonucleic acid*). Desde então, o DNA vem sendo amplamente estudado e hoje sua sigla é popularmente associada à identidade genética de cada pessoa.

O ácido desoxirribonucleico foi descoberto em meados do século XIX pelo cientista suíço Johann Friedrich Miescher (1844-1895). Em suas pesquisas, Miescher utilizou glóbulos brancos (leucócitos) obtidos do pus retirado de ataduras de ferimentos infeccionados. Analisando a composição química dos núcleos dos leucócitos, o pesquisador encontrou uma substância ainda desconhecida, rica em nitrogênio e fósforo, que ele denominou nucleína por estar presente nos núcleos celulares.

A descoberta da nucleína teve inicialmente pouca repercussão, mas alguns pesquisadores prosseguiram os trabalhos de Miescher. Eles verificaram que a nucleína apresentava características ácidas e passaram a chamá-la de ácido nucleico. Logo foram identificados dois tipos de ácido nucleico: o ácido desoxirribonucleico, ou DNA, que apresenta o glicídio desoxirribose em sua constituição, e o ácido ribonucleico (RNA), que contém ribose em vez de desoxirribose. Relembre a composição química do DNA e do RNA no capítulo 3 deste volume.

Em 1944, Oswald Avery (1877-1955) e dois de seus colaboradores, Colin M. MacLeod (1909-1972) e Maclyn McCarty (1911-2005), chegaram à conclusão de que a substância capaz de transformar certas características hereditárias de bactérias era o DNA. Com isso, diversos pesquisadores passaram a admitir a hipótese de que essa substância deveria ser o material hereditário dos seres vivos, estimulando inúmeras pesquisas sobre o tema. Uma dessas pesquisas foi conduzida por James Watson e Francis Crick, que, em 1953, desvendaram a estrutura molecular do DNA.

2 Estrutura molecular do DNA

O DNA é constituído por dois longos filamentos enrolados um sobre o outro, formando uma estrutura helicoidal que lembra a “espiral” de um caderno. Pelo fato de possuir dois filamentos paralelos, costuma-se dizer que o DNA é uma dupla-hélice. Cada um dos filamentos de DNA é composto por milhares ou milhões de unidades chamadas nucleotídios, encadeados em sequência. Assim, os filamentos da molécula de DNA são cadeias polinucleotídicas.

As duas cadeias de um DNA mantêm-se unidas por meio de ligações de hidrogênio (pontes de hidrogênio) entre suas bases nitrogenadas. Essas ligações ocorrem entre pares de bases específicos: a adenina liga-se unicamente com a timina (**A** ↔ **T**), e a citosina liga-se unicamente com a guanina (**C** ↔ **G**). Por isso, as duas cadeias de uma molécula de DNA são sempre complementares: um nucleotídio com adenina em uma das cadeias sempre corresponde a um nucleotídio com timina na outra cadeia, e vice-versa; um nucleotídio com guanina em uma das cadeias sempre corresponde a um nucleotídio com citosina na outra cadeia, e vice-versa. Suponha que a sequência de bases de uma das cadeias de um DNA seja, por exemplo, ATTGCATGCGCATTACG; a outra cadeia apresentará, na região correspondente, a sequência complementar TAACGTACGCGTAATGC. (**Fig. 10.1**)

Todas as formas de vida em nosso planeta, com exceção de alguns vírus, têm suas informações genéticas codificadas na sequência de bases nitrogenadas do DNA.

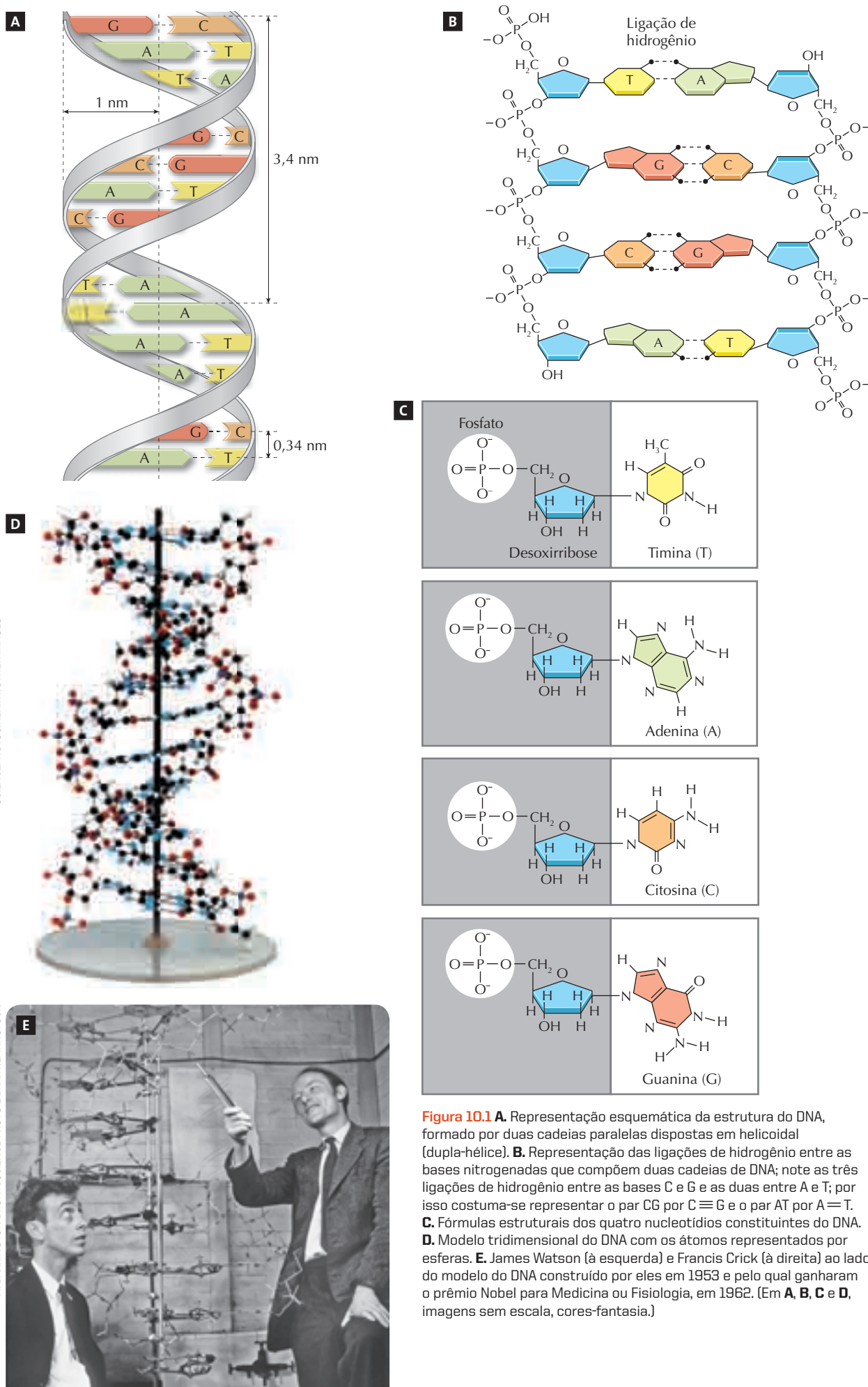


Figura 10.1 **A.** Representação esquemática da estrutura do DNA, formado por duas cadeias paralelas dispostas em helicoidal (dupla-hélice). **B.** Representação das ligações de hidrogênio entre as bases nitrogenadas que compõem duas cadeias de DNA; note as três ligações de hidrogênio entre as bases C e G e as duas entre A e T; por isso costuma-se representar o par CG por C≡G e o par AT por A=T. **C.** Fórmulas estruturais dos quatro nucleotídeos constituintes do DNA. **D.** Modelo tridimensional do DNA com os átomos representados por esferas. **E.** James Watson (à esquerda) e Francis Crick (à direita) ao lado do modelo do DNA construído por eles em 1953 e pelo qual ganharam o prêmio Nobel para Medicina ou Fisiologia, em 1962. (Em **A**, **B**, **C** e **D**, imagens sem escala, cores-fantasia.)

Como o DNA armazena informações: uma analogia

A década de 1960 trouxe mudanças revolucionárias à Biologia: os cientistas estavam conseguindo, afinal, decifrar a “linguagem da vida”, ou seja, o sistema em código que permite transmitir, de geração a geração, as características típicas de cada espécie. As informações que determinam as características hereditárias de um organismo estão registradas em uma linguagem codificada que é essencialmente a mesma para todas as formas de vida; isso reforça a ideia de que todas as espécies de organismos atuais, inclusive a nossa, tiveram ancestrais comuns em um passado remoto.

Para entender o princípio básico da linguagem genética, podemos fazer uma analogia com nossa própria linguagem. Quando nos comunicamos por meio da palavra escrita, utilizamos um alfabeto de 26 símbolos: as letras de **a a z**. Combinações desses símbolos formam conjuntos com significados próprios, as palavras. Por exemplo, a combinação das letras **v, i, d e a**, nessa ordem específica, forma a palavra **vida**, que, em nosso idioma, tem um significado definido.

O alfabeto da vida tem somente quatro símbolos. São as quatro bases nitrogenadas que constituem o DNA: adenina, citosina, guanina e timina, representadas pelas letras **A, C, G e T**. Com apenas esses quatro símbolos, a natureza escreve todas as informações necessárias à existência e à continuidade da vida na Terra.

Tente comunicar-se com um amigo utilizando um alfabeto composto por apenas esses quatro símbolos. Embora pareça difícil, isso pode ser feito desde que se estabeleça um código, reconhecido e compreendido por você e por seu amigo. Por exemplo, podemos utilizar os quatro símbolos A, C, G e T para representar as letras do alfabeto. Se combinarmos os quatro símbolos dois a dois (por exemplo, AA = letra a, AC = letra b, e assim por diante), haverá apenas 16 combinações possíveis, insuficientes para representar as 26 letras do alfabeto. Se combinarmos os símbolos três a três (por exemplo, GCA = letra a, GAG = letra b, e assim por diante), teremos 64 combinações possíveis, número mais que suficiente para corresponder às letras de nosso alfabeto. Podemos ainda utilizar trincas diferentes para uma mesma letra do alfabeto e ainda reservar algumas combinações para corresponder a pontuações de nossas mensagens.

GCA = a	GTC = o	CAG = u	GGG = g
GCT = a	GTA = ó	GAG = b	CTT = v
TCA = é	GAA = s	ATC = c	CGA = n
TCT = e	AGG = l	TTG = d	GCC = r
AAT = ê	TGT = q	CCC = t	TTT = ?
CCT = i	ACA = m	ACT = .	AAA = espaço

Por exemplo, considere o sistema de codificação que “inventamos” para este exemplo; escolhemos algumas combinações, três a três, dos símbolos A, C, G e T e as associamos a letras e símbolos de nosso alfabeto. Observe que as trincas GCA e GCT são sinônimas, pois ambas correspondem à letra **a**.

Com esse código, veja como seria traduzida a mensagem codificada a seguir.

GTC	AAA	ATC	GTA	TTG	CCT	GGG	GTC	AAA	TTG	GCA	AAA	...
o		c	ó	d	i	g	o		d	a		
...	CTT	CCT	TTG	GCT	AAA	TCA	AAA	...				
	v	i	d	a		é						
...	CAG	CGA	CCT	CTT	TCT	GCC	GAA	GCA	AGG	ACT		
	u	n	i	v	e	r	s	a	l	.		

Utilizando o mesmo código, traduza a seguinte mensagem:

GTC	AAA	TGT	CAG	TCT	AAA	TCA	AAA	CTT	CCT	TTG	GCT	TTT
?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?

Transcreva agora, em código, a frase: “como surgiu a vida?”.

A linguagem da vida baseia-se em um sistema de codificação semelhante ao do exemplo que acabamos de ver. No interior das células vivas, há um sistema molecular que contém informações para produzir proteínas, substâncias que determinam a estrutura das células e controlam todos os processos metabólicos. Esse sistema de informações bioquímicas dos seres vivos é o **código genético**. Nele, cada trinca de bases nitrogenadas de uma das cadeias do DNA corresponde a um determinado aminoácido na proteína. Assim, uma sequência de trincas de bases do DNA indica em que sequência os aminoácidos devem se unir para formar determinada proteína.

No código genético, há 64 trincas possíveis, mas apenas 61 delas correspondem a aminoácidos. As três trincas restantes são usadas como pontuação, pois elas indicam o término da codificação de cada proteína.

4 Duplicação semiconservativa do DNA

O modelo para explicar a estrutura da molécula do DNA foi proposto, em 1953, pelo biólogo estadunidense James D. Watson (n. 1928) e pelo físico inglês Francis H. C. Crick (1916-2004). Esse modelo foi bem-aceito porque, além de explicar as propriedades físicas e químicas do DNA, explicava também como a molécula se duplica. De acordo com o modelo, as duas cadeias que constituem o DNA se separam e cada uma delas orienta a produção da cadeia complementar. Esse modo de duplicação, amplamente confirmado em inúmeros experimentos, é conhecido como **duplicação semiconservativa do DNA**, pois cada uma das moléculas recém-formadas conserva uma das cadeias da “molécula-mãe” e produz uma cadeia nova, complementar à que lhe serviu de molde.

No processo de duplicação do DNA (também chamado de replicação), as pontes de hidrogênio que unem as duas cadeias se desfazem e as cadeias se separam. À medida que as bases de cada cadeia se desemparelham de suas complementares, nucleotídeos livres presentes na célula unem-se a elas, respeitando a seguinte regra de emparelhamento: adenina emparelha-se com timina ($A \leftrightarrow T$) e citosina, com guanina ($C \leftrightarrow G$).

Os nucleotídeos que se encaixam em cada uma das cadeias do DNA em duplicação vão unindo-se uns aos outros, originando uma nova cadeia complementar à que serve de molde. Ao final do processo de duplicação, haverá duas moléculas de DNA idênticas, cada uma formada por uma cadeia proveniente da molécula original e por uma cadeia nova, recém-sintetizada a partir da união de nucleotídeos ordenados pela sequência das bases nitrogenadas da cadeia molde. (Fig. 10.2)

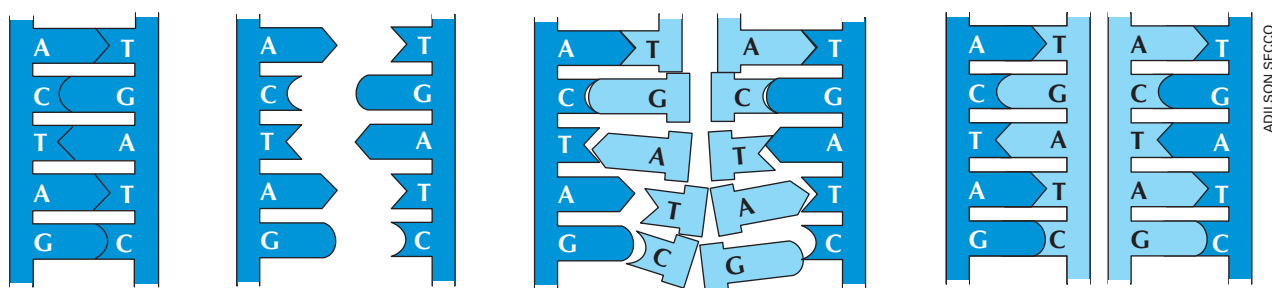


Figura 10.2 Representação esquemática da duplicação do DNA. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)

Muitos detalhes da duplicação do DNA já são conhecidos pelos cientistas. Sabe-se, por exemplo, que o processo de duplicação envolve a participação de dezenas de enzimas com funções diversas. Uma delas causa o desemparelhamento das duas cadeias de DNA, abrindo a molécula que será duplicada; outra encarrega-se de desenrolar a dupla-hélice; outra, ainda, catalisa a união dos nucleotídeos que vão se emparelhando à cadeia-molde etc. A enzima que promove a ligação entre os nucleotídeos é chamada **polimerase do DNA**, pois promove a polimerização, ou seja, a formação de um polímero (do grego *poli*, muitos) de nucleotídeos. Relembre que o termo polímero designa moléculas que são longas cadeias de subunidades (monômeros) idênticas ou similares, unidas entre si, ou seja, polimerizadas. O DNA é um polímero cujos monômeros são nucleotídeos.

Genes e RNA: a transcrição gênica

Habilidades sugeridas

- Compreender como os genes podem conter informações capazes de controlar atividades celulares.
- Conhecer os principais tipos de RNA (RNA mensageiro, RNA transportador e RNA ribossômico) e seu papel no processo de síntese de proteínas.

Conceitos principais

- transcrição gênica
- região promotora do gene
- sequência de término de transcrição
- RNA ribossômico (rRNA)
 - nucléolo
- RNA transportador (tRNA)
 - anticódon
 - códon
- RNA mensageiro (mRNA)

1 Relação entre genes, cromossomos e DNA

O DNA é o constituinte fundamental dos cromossomos. Cada cromossomo possui apenas uma molécula de DNA, que pode atingir até 10 cm de comprimento e apresentar mais de 150 milhões de pares de nucleotídeos. Relembre a estrutura do cromossomo no capítulo 7.

Um gene corresponde a uma região particular de uma molécula de DNA, que pode abranger desde poucas dezenas de pares de nucleotídeos até milhões deles. Cada gene determina a produção de uma molécula específica de RNA, “transcrevendo” para ela seu código molecular. Grande parte das moléculas de RNA, por sua vez, orienta a produção de proteínas, traduzindo a informação codificada na molécula de RNA em uma sequência de aminoácidos, característica de cada molécula proteica.

Hoje se sabe que apenas uma pequena parcela do DNA dos seres eucarióticos tem sua informação “transcrita” para moléculas de RNA. Calcula-se, por exemplo, que apenas 3% do DNA presente nos 24 tipos de cromossomos humanos sejam genes; os 97% restantes são sequências de nucleotídeos que não produzem RNA e cuja função ainda não é bem conhecida, constituindo o chamado **DNA não codificante**. Já se descobriu que muitos tipos de DNA não codificante desempenham funções importantes na estrutura e no funcionamento dos cromossomos. Por exemplo, o centrômero, fundamental para que ocorra a distribuição correta dos cromossomos para as células-filhas durante as divisões celulares, é formado por um tipo de DNA não codificante. Alguns cientistas acreditam que parte do DNA não codificante tenha sido importante e perdeu sua função ao longo da evolução, permanecendo no núcleo como “lembança” do passado.

O genoma – conjunto de moléculas de DNA – de um organismo eucariótico pode ser comparado a uma coleção de livros de “receitas genéticas”: cada livro corresponderia a um cromossomo, com sua respectiva molécula de DNA, e cada receita seria um gene. Cada um desses livros genéticos conteria poucas receitas, isto é, poucos genes; a maior parte do “texto” seria constituída por letras que não formam palavras, isto é, não contém informação para a produção de RNA ou proteína, constituindo o DNA não codificante. (Fig. 10.3)

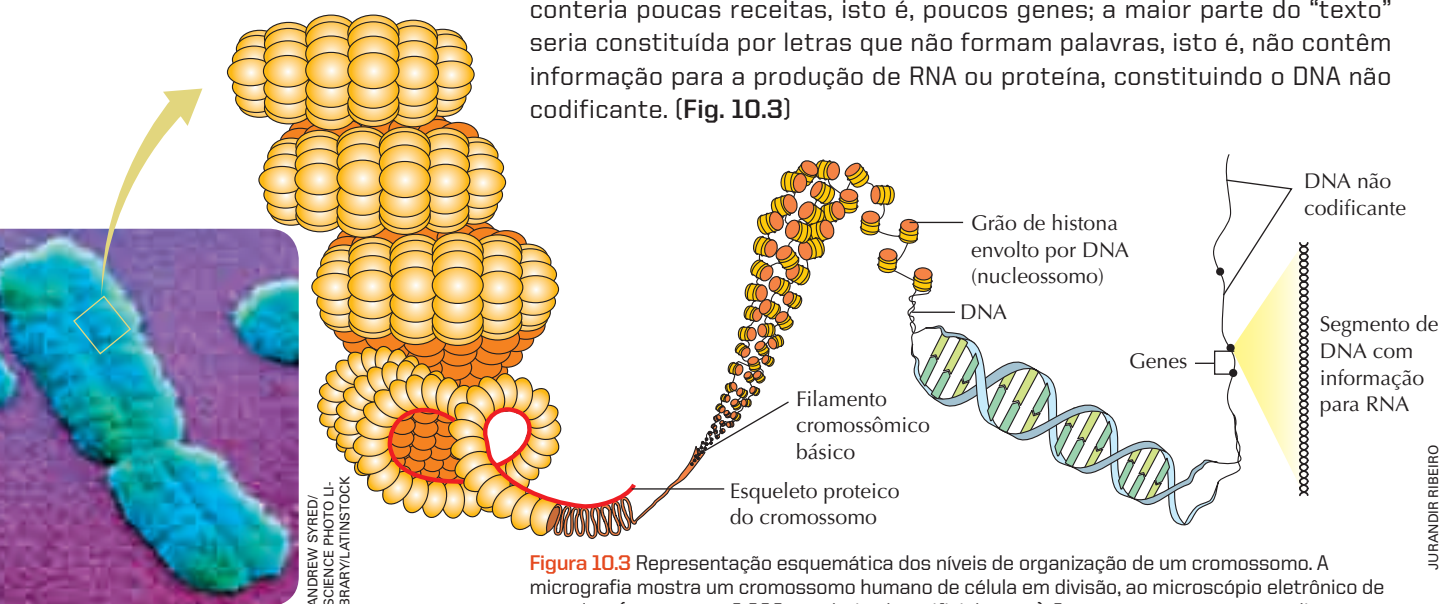


Figura 10.3 Representação esquemática dos níveis de organização de um cromossomo. A micrografia mostra um cromossomo humano de célula em divisão, ao microscópio eletrônico de varredura (aumento $\approx 9.000\times$; colorizada artificialmente). O esquema representa ampliações sucessivas de desdobramento de um cromossomo, mostrando, progressivamente, o filamento cromossômico básico, a relação entre o DNA e as histonas e, finalmente, genes e DNA não codificante. (Baseado em Griffiths, A. e cols., 2008.) [Imagem sem escala, cores-fantasia.]

Como já vimos, um gene pode ser definido como um segmento de DNA que atua como molde para a produção de uma molécula de RNA. As moléculas de RNA, como as de DNA, são constituídas por nucleotídeos ligados em sequência. A principal diferença entre esses dois ácidos nucleicos é que o glicídio presente no RNA é a ribose e não a desoxirribose, como ocorre no DNA. Além disso, no RNA não está presente a base timina, havendo em seu lugar a base uracila.

2 Transcrição gênica

Todo RNA é produzido a partir de um molde de DNA; a principal diferença entre a duplicação do DNA e a síntese de RNA é que nesta última são utilizados ribonucleotídeos (que contêm ribose) e apenas uma das cadeias do DNA serve de molde para a molécula que está sendo sintetizada. No processo de produção do RNA, denominado **transcrição gênica**, as duas cadeias do DNA se separam e uma delas serve de molde ao RNA; a outra cadeia do DNA permanece inativa. Ao final do processo, as duas cadeias de DNA voltam a se emparelhar, reconstituindo a dupla-hélice.

A síntese de RNA a partir de DNA é catalisada pela enzima **polimerase do RNA**. Essa enzima une-se a uma das extremidades do gene e começa a separar as cadeias do DNA, orientando o emparelhamento de ribonucleotídeos livres a uma das cadeias. Esse emparelhamento segue a regra: ribonucleotídeos com uracila emparelham-se às adeninas da cadeia-molde de DNA ($U \leftrightarrow A$); ribonucleotídeos com adenina emparelham-se às timinas do DNA ($A \leftrightarrow T$); ribonucleotídeos com citosina emparelham-se às guaninas do DNA ($C \leftrightarrow G$); ribonucleotídeos com guanina emparelham-se às citosinas do DNA ($G \leftrightarrow C$). À medida que se emparelham ao DNA, os ribonucleotídeos unem-se por ação da polimerase do RNA, formando a molécula de RNA. Esta, à medida que é produzida, desprende-se da cadeia-molde de DNA, que volta a se juntar à sua parceira. (Fig. 10.4)

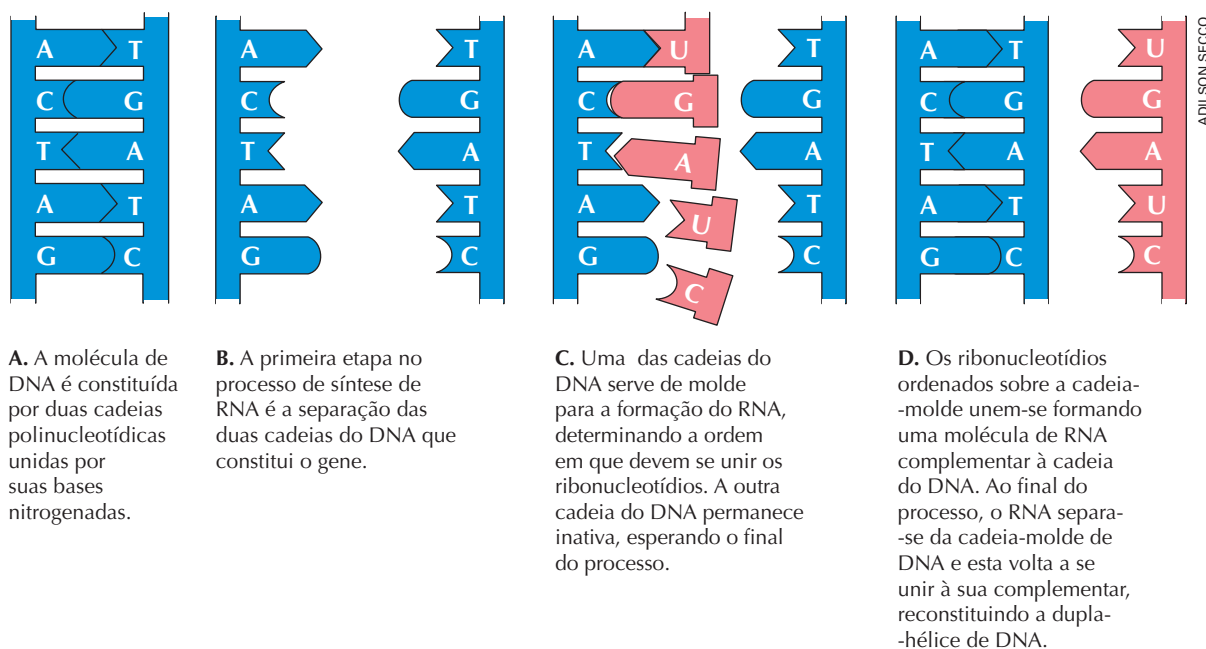


Figura 10.4 Representação esquemática da transcrição gênica. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)

A sequência de bases nitrogenadas de uma molécula de RNA reflete rigorosamente a sequência de bases da cadeia de DNA que serviu de molde. Por exemplo, uma cadeia de DNA com sequência de bases TAGGCTAATGCTCGTA produz um RNA com sequência de bases AUCCGAUUACGAGCAU. Assim, a mensagem em código escrita no DNA é transcrita para o RNA. É por isso que o processo de produção de RNA é chamado de transcrição gênica.

3 Os limites de um gene

O que define o início e o fim de um gene na molécula de DNA? Essa pergunta intrigou os cientistas durante muito tempo. Hoje se sabe que o início de um gene é marcado por uma sequência especial de pares de bases nitrogenadas conhecida como **região promotora do gene**. Essa sequência determina o local do DNA em que se encaixa a polimerase do RNA, para iniciar a síntese de RNA. Após se encaixar à região promotora do gene, a polimerase do RNA separa a dupla-hélice do DNA e utiliza uma das cadeias como molde para a formação do RNA. O processo continua até que a polimerase do RNA encontra uma sequência específica de bases nitrogenadas, a chamada **sequência de término de transcrição**, que marca o fim do processo. Assim, todo gene tem um início, a região promotora, e um fim, a sequência de término de transcrição. (Fig. 10.5)

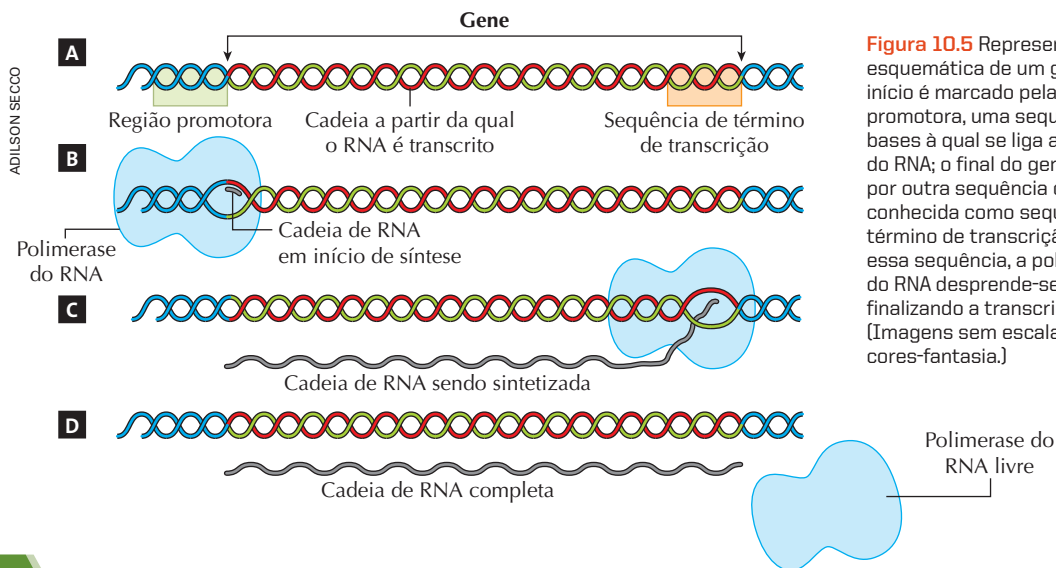


Figura 10.5 Representação esquemática de um gene. Seu início é marcado pela região promotora, uma sequência de bases à qual se liga a polimerase do RNA; o final do gene é marcado por outra sequência de bases, conhecida como sequência de término de transcrição. Ao atingir essa sequência, a polimerase do RNA desprende-se do DNA, finalizando a transcrição. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)

4 Principais tipos de RNA

As moléculas de RNA transcritas a partir do DNA podem ser de três tipos principais: RNA ribossômico (RNAr), RNA transportador (RNAt) e RNA mensageiro (RNAm). Nas células eucarióticas, os três tipos de RNA são transcritos, a partir do DNA cromossômico, no interior do núcleo celular. Nos organismos procarióticos, em que não há núcleo, a síntese desses tipos de RNA ocorre no nucleóide, onde se localiza o cromossomo desses organismos. Os três tipos de RNA participam da síntese das proteínas, mas é o RNA mensageiro que define o tipo de proteína a ser produzido.

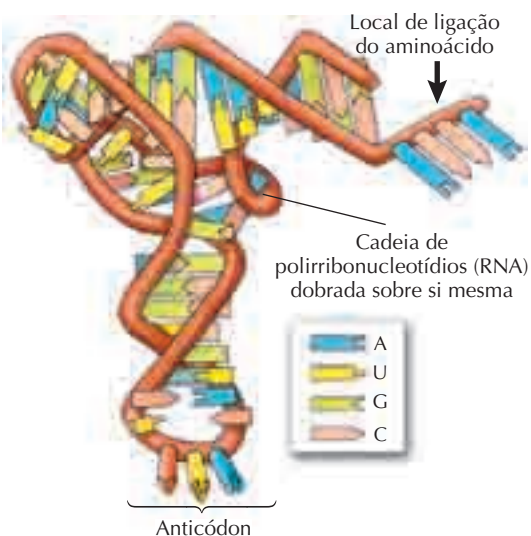


Figura 10.6 Representação esquemática da estrutura tridimensional de um RNAt. Uma trinca de bases especial, o anticódon, permite que o RNAt se emparelhe ao códon complementar do RNAm durante a síntese da proteína. (Imagem sem escala, cores-fantasia.) (Baseado em Rawn, J., 1989.)

RNA ribossômico

Os segmentos de DNA que servem de molde para a formação das moléculas de RNA ribossômico ficam em locais específicos de certos cromossomos, chamados de regiões organizadoras do nucléolo. As moléculas de **RNA ribossômico (RNAr)** recém-sintetizadas acumulam-se ao redor dessas regiões, formando os **nucléolos**, onde o RNA ribossômico se combina a proteínas especiais vindas do citoplasma e origina os ribossomos, estruturas citoplasmáticas que servem de base para a síntese de proteínas.

RNA transportador

As moléculas de **RNA transportador (RNAt)** também são sintetizadas a partir de segmentos de DNA presentes em certas regiões específicas dos cromossomos. Esse tipo de RNA é responsável pelo transporte das moléculas de aminoácidos até os ribossomos, onde elas se unem para formar as proteínas. Um RNAt é uma molécula relativamente pequena, com uma extremidade onde se liga um aminoácido específico e uma região mediana onde há uma trinca de bases, o **anticódon**, por meio da qual o RNAt emparelha-se temporariamente a uma trinca de bases complementares do RNA mensageiro (RNAm), o **códon**. (Fig. 10.6)

RNA mensageiro

Os segmentos de DNA que servem de molde para as moléculas de **RNA mensageiro (RNAm)** localizam-se nos diversos cromossomos da célula, geralmente separados por longos segmentos de DNA não codificante. As moléculas de RNA mensageiro (RNAm) sintetizadas a partir dos genes têm a informação para a síntese de proteínas codificada em trincas de bases nitrogenadas. Cada trinca é chamada códon e define a posição de um aminoácido constituinte da proteína.

A correspondência entre o códon e seu respectivo aminoácido é feita pelo RNAt, por meio do anticódon. Por exemplo, o RNAt com anticódon UAC encaixa-se no RNAm apenas onde há o códon AUG. Como esse RNAt transporta o aminoácido metionina, é ele que vai se encaixar nos locais da cadeia polipeptídica correspondentes aos códons AUG do RNAm. Assim, os RNAt atuam na síntese das proteínas como “adaptadores”, encaixando os aminoácidos de acordo com os códons do RNAm. O ribossomo, por sua vez, serve de suporte para o acoplamento do RNAm e dos RNAt.

5 O código genético

A correspondência entre os códons do RNAm e os aminoácidos constitui o código genético. As quatro bases nitrogenadas presentes no RNAm (A, U, C e G), reunidas três a três, formam 64 códons distintos. Dos 64 códons, 61 correspondem aos vinte tipos de aminoácido que entram na constituição das proteínas. Os três códons restantes não correspondem a nenhum aminoácido e funcionam como pontuação, indicando o final da informação genética na molécula do RNAm. (Fig. 10.7)

		Segunda base do códon								
		U		C		A		G		
Primeira base do códon	U	UUU	Phe	UCU	Ser	UAU	Tyr	UGU	Cys	Terceira base do códon
		UUC	Phe	UCC	Ser	UAC	Tyr	UGC	Cys	
		UUA	Leu	UCA	Ser	UAA	pare*	UGA	pare*	
		UUG	Leu	UCG	Ser	UAG	pare*	UGG	Trp	
	C	CUU	Leu	CCU	Pro	CAU	His	CGU	Arg	
		CUC	Leu	CCC	Pro	CAC	His	CGC	Arg	
		CUA	Leu	CCA	Pro	CAA	Gln	CGA	Arg	
		CUG	Leu	CCG	Pro	CAG	Gln	CGG	Arg	
	A	AUU	Ile	ACU	Thr	AAU	Asn	AGU	Ser	
		AUC	Ile	ACC	Thr	AAC	Asn	AGC	Ser	
		AUA	Ile	ACA	Thr	AAA	Lys	AGA	Arg	
		AUG	Met	ACG	Thr	AAG	Lys	AGG	Arg	
	G	GUU	Val	GCU	Ala	GAU	Asp	GGU	Gly	
		GUC	Val	GCC	Ala	GAC	Asp	GGC	Gly	
		GUA	Val	GCA	Ala	GAA	Glu	GGA	Gly	
		GUG	Val	GCG	Ala	GAG	Glu	GGG	Gly	

Abreviaturas dos aminoácidos

Phe = fenilalanina	His = histidina
Leu = leucina	Gln = glutamina
Ile = isoleucina	Asn = aspargina
Met = metionina	Lys = lisina
Val = valina	Asp = ácido aspártico
Ser = serina	Glu = ácido glutâmico
Pro = prolina	Cys = cisteína
Thr = treonina	Trp = triptofano
Ala = alanina	Arg = arginina
Tyr = tirosina	Gly = glicina

*A abreviatura *pare* corresponde aos códons de parada.

Figura 10.7 Tabela do código genético. As letras da coluna azul correspondem às bases que ocupam a primeira posição na trinca. As letras da linha superior, vermelha, correspondem às bases que ocupam a segunda posição na trinca. As letras da coluna verde correspondem às bases que ocupam a terceira posição na trinca.

Abreviaturas dos aminoácidos

Phe = fenilalanina His = histidina
 Leu = leucina Gln = glutamina
 Ile = isoleucina Asn = asparagina
 Met = metionina Lys = lisina
 Val = valina Asp = ácido aspártico
 Ser = serina Glu = ácido glutâmico
 Pro = prolina Cys = cisteína
 Thr = treonina Trp = triptofano
 Ala = alanina Arg = arginina
 Tyr = tirosina Gly = glicina

*A abreviatura *pare* corresponde aos códons de parada.

Figura 10.7 Tabela do código genético. As letras da coluna azul correspondem às bases que ocupam a primeira posição na trinca. As letras da linha superior, vermelha, correspondem às bases que ocupam a segunda posição na trinca. As letras da coluna verde correspondem às bases que ocupam a terceira posição na trinca.

Diz-se que o código genético é “degenerado” porque, para quase todos os aminoácidos, há mais de uma trinca codificante. Apenas dois aminoácidos são codificados por uma única trinca. Há, também, três trincas “sem sentido” (UAA, UAG e UGA), que sinalizam o final da mensagem. O código genético é praticamente o mesmo em todos os seres vivos do planeta e, por isso, diz-se que ele é universal. As exceções conhecidas restringem-se ao significado de alguns códons em mitocôndrias e em genes nucleares de umas poucas espécies. (Tab. 10.1)

Tabela 10.1 Desvios conhecidos do sistema de código genético			
Códon	Código universal	Código não usual	Ocorrência
UGA	Pare	Triptofano (Trp)	<i>Mycoplasma</i> sp., <i>Spiroplasma</i> sp., mitocôndrias de diversas espécies
CUG	Leucina (Leu)	Treonina (Thr)	Mitocôndria de leveduras
UAA, UAG	Pare	Glutamina (Gln)	<i>Acetabularia</i> sp., <i>Tetrahymena</i> sp., paramécios etc.
UGA	Pare	Cisteína (Cys)	<i>Euplates</i> sp.

Fonte: Osawa e colaboradores, *Microbiology Review*, n. 56, 1992, p. 229.

Mecanismo de síntese das proteínas

Habilidades sugeridas

- Utilizar uma tabela de código genético para prever, a partir da sequência de bases de um DNA ou de um RNA, a composição em aminoácidos do polipeptídio produzido.
- Explicar, em termos gerais, como os genes determinam as características estruturais e funcionais dos seres vivos por meio do controle da síntese das proteínas.

Conceitos principais

- tradução gênica
- códon de início de tradução
- sítio P do ribossomo
- sítio A do ribossomo
- códon de parada
- polirribossomo

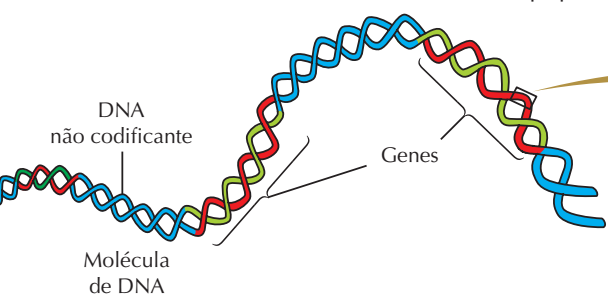


Figura 10.8

Em um gene, a sequência de bases de uma das cadeias do DNA é transcrita na forma de uma molécula de RNAm, que, por sua vez, será traduzida em uma cadeia polipeptídica. Cada trinca de bases no RNAm (códon) corresponde a um aminoácido na proteína. As abreviações indicam os aminoácidos: triptofano (Trp), fenilalanina (Phe), glicina (Gly) e serina (Ser). (Imagens sem escala, cores-fantasia.) (Baseado em Campbell, N. e cols., 1999.)

A tradução gênica

Proteínas são substâncias essenciais à estrutura das células vivas; além disso, elas atuam como enzimas, comandando praticamente todos os processos vitais. Como já vimos, proteínas podem ser constituídas por um ou mais polipeptídios.

A síntese de uma cadeia polipeptídica consiste em unir aminoácidos de acordo com a sequência de códons do RNAm. Como essa sequência é determinada pelas bases do DNA (gene) que serviu de molde ao RNAm, a síntese de proteínas representa, portanto, a “tradução” da informação do gene, sendo por isso chamada de **tradução gênica**. (Fig. 10.8)

No processo de tradução gênica, participam, dentre outros fatores, um ribossomo, um RNAm, vários RNAt, aminoácidos e diversas enzimas. O ribossomo encaixa-se em uma das extremidades do RNAm e o percorre até a outra extremidade. À medida que esse deslocamento ocorre, os RNAt vão encaixando os aminoácidos na sequência definida pela ordem dos códons do RNA mensageiro. Dessa forma, a informação inscrita na sequência de bases do RNAm vai sendo traduzida na sequência de aminoácidos da proteína. Veja a seguir detalhes de como ocorre esse processo.

Início da síntese da cadeia polipeptídica

A síntese de um polipeptídio tem início com a associação entre um ribossomo, um RNAm e o RNAt que transporta o aminoácido metionina. Esse RNAt, cujo anticódon é UAC, emparelha-se com um códon AUG presente perto da extremidade inicial da molécula do RNAm. O códon AUG constitui o chamado **códon de início de tradução**, pois é ele que determina o local da molécula de RNAm em que tem início a informação para a cadeia polipeptídica. Esta sempre é iniciada pelo aminoácido metionina.

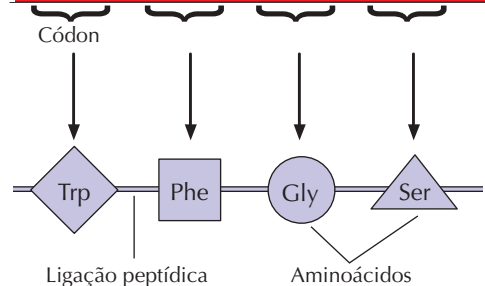
Cadeia do DNA-molde para o RNA

Transcrição gênica

Cadeia do RNA-molde para a proteína

Tradução gênica

Polipeptídio



ADILSON SECCO

Crescimento da cadeia polipeptídica

O RNAt especial, que transporta metionina e inicia a tradução gênica, encaixa-se a um local do ribossomo onde se aloja o primeiro códon – AUG – do RNAm. Esse local do ribossomo é chamado **sítio P** (de peptidil), pois, durante o processo da síntese de proteínas, ele é ocupado pelo RNAt que carrega a cadeia polipeptídica em formação. Ao lado do sítio P, localiza-se o **sítio A** (de aminoacil), onde se aloja o RNAt que carrega o aminoácido a ser incorporado na cadeia polipeptídica em formação.

Com o primeiro RNAt alojado no sítio P, um segundo RNAt aloja-se no sítio A. O anticódon desse segundo RNAt será complementar ao segundo códon do RNAm, que está sob o sítio A. Por exemplo, se o códon do RNAm no sítio A for UUU, o RNAt que nele se aloja terá anticódon AAA e, portanto, transportará o aminoácido fenilalanina (Phe). (Fig. 10.9)

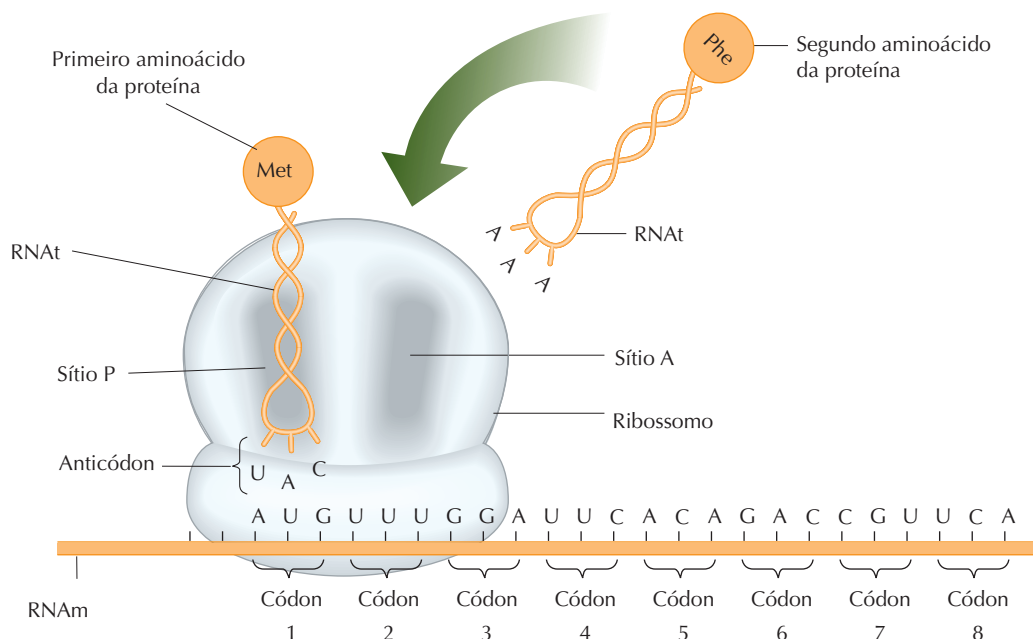


Figura 10.9 Representação esquemática do início da síntese de uma proteína. O ribossomo está associado ao RNAm; o primeiro RNAt, transportando o aminoácido metionina, ocupa o sítio P. O segundo RNAt, transportando fenilalanina, vai ocupar o sítio A; os dois aminoácidos irão se unir pela ligação peptídica. O ribossomo se desloca uma trinca sobre o RNAm e o processo se repete. (Imagem sem escala, cores-fantasia.)

Assim que os dois primeiros RNAt se encaixam aos sítios P e A, o ribossomo catalisa a separação da metionina de seu RNAt e sua imediata ligação ao aminoácido transportado pelo segundo RNAt, que ocupa o sítio A. Em seguida, o ribossomo desloca-se sobre a molécula de RNAm, dando um “passo” correspondente a uma trinca de bases. Com isso, o RNAt que transportava a metionina desprende-se do RNAm e do ribossomo, e o RNAt que originalmente ocupava o sítio A passa a ocupar o sítio P, carregando agora dois aminoácidos unidos pela ligação peptídica. O sítio A do ribossomo torna-se disponível para a entrada do próximo RNAt.

Com o deslocamento do ribossomo, o sítio A passa a se localizar sobre o terceiro códon do RNAm. Este orienta a entrada de um RNAt com anticódon complementar. O ribossomo catalisa a separação do RNAt que ocupava o sítio P e do dipeptídeo que ele transportava. Simultaneamente, ocorre a ligação peptídica entre o segundo aminoácido do dipeptídeo e o aminoácido recém-chegado, transportado pelo RNAt ocupante do sítio A. Outra vez o ribossomo dá um “passo” correspondente a uma trinca de bases. Com isso, o RNAt sem aminoácidos se solta, e o sítio P passa a ser ocupado pelo terceiro RNAt, que agora transporta um tripeptídeo (uma cadeia de três aminoácidos). O sítio A, agora localizado sobre o quarto códon do RNAm, fica disponível para receber o próximo RNAt com seu respectivo aminoácido. Assim, à medida que o ribossomo se desloca sobre o RNAm, a cadeia polipeptídica cresce. (Fig. 10.10)

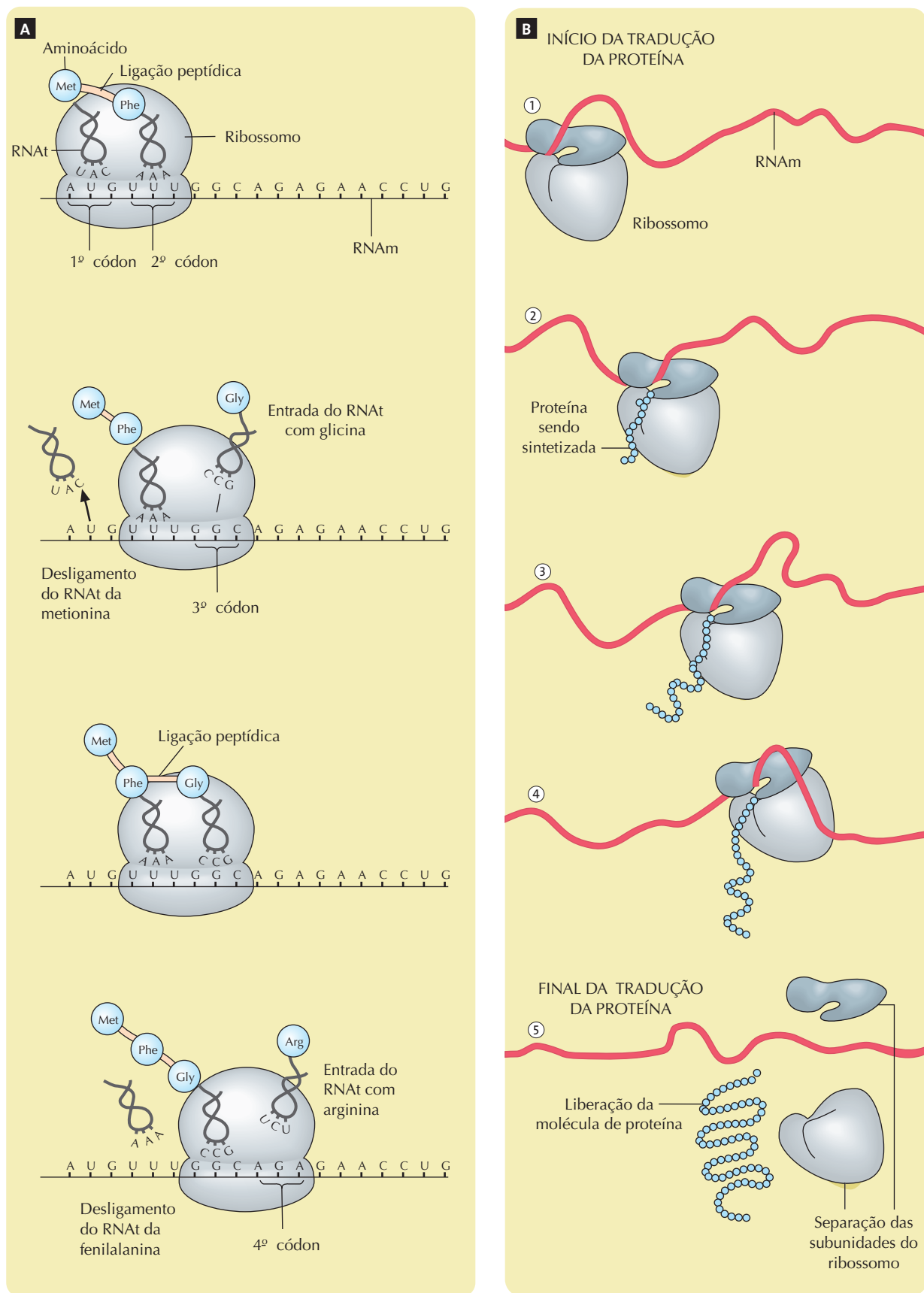


Figura 10.10 **A.** De cima para baixo, representação dos estágios sucessivos do encadeamento dos aminoácidos para formar a proteína. A sequência de códon no RNAm determina a ordem em que os aminoácidos se unem. **B.** Visão geral do processo de síntese de proteínas que ocorre no ribossomo, desde o momento em que ele se une ao RNAm (1) até que suas subunidades se separam (5), liberando a proteína completamente formada. [Imagens sem escala, cores-fantasia.]

Término da síntese da cadeia polipeptídica

O último estágio da síntese de um polipeptídeo ocorre quando o ribossomo chega a um **códon de parada**, ou seja, um dos três códons para os quais não há aminoácido correspondente. Quando isso ocorre, o sítio A do ribossomo é ocupado por uma proteína denominada **fator de liberação** e todos os participantes do processo se separam, inclusive as duas subunidades do ribossomo, liberando a cadeia polipeptídica formada.

O processo de síntese das proteínas é rigorosamente ordenado, o que garante que os tipos e a sequência de aminoácidos de uma cadeia polipeptídica sejam determinados, com precisão, pela sequência de códons do RNAm. Como este é produzido pela transcrição exata de uma das cadeias de DNA, concluímos que a sequência e os tipos de aminoácidos em uma proteína são determinados pela sequência de bases do DNA, ou seja, pelos genes.

As proteínas, além de sua importante função estrutural, também atuam como enzimas, que controlam praticamente todas as reações metabólicas das células. Portanto, ao controlar a produção das proteínas, os genes exercem o controle das características e das atividades celulares.

Polirribossomos (ou polissomos)

À medida que um ribossomo se desloca sobre um RNAm, traduzindo sua mensagem na forma de uma cadeia polipeptídica, outro ribossomo pode também iniciar a tradução do mesmo RNAm. Assim, vários ribossomos podem se encaixar sucessivamente no início de um RNAm, percorrendo-o e saindo na extremidade oposta, todos sintetizando o mesmo tipo de cadeia polipeptídica.

É comum encontrar de dez a vinte ribossomos traduzindo simultaneamente um mesmo RNAm. Cada ribossomo tem uma cadeia polipeptídica em formação, cujo tamanho depende do trecho já percorrido no RNAm. O conjunto formado por vários ribossomos traduzindo um mesmo RNAm é chamado de **polirribossomo**, ou **polissomo**. (Fig. 10.11)

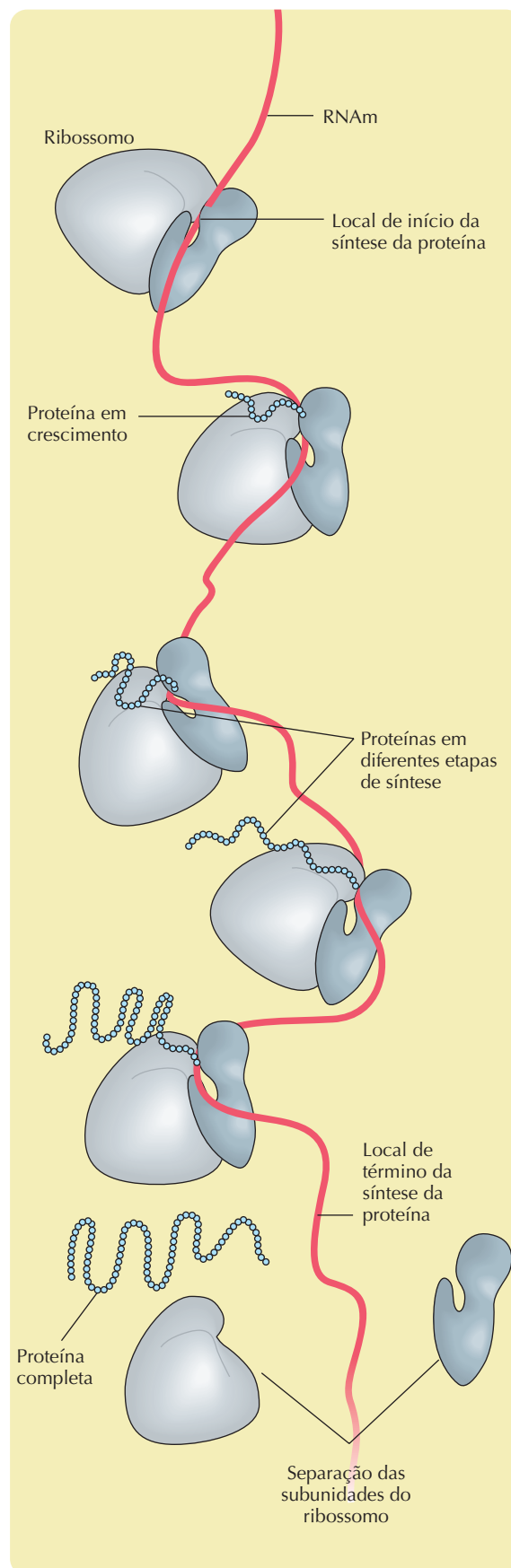


Figura 10.11 Representação esquemática de um polirribossomo. Uma molécula de RNAm vai sendo percorrida simultaneamente por diversos ribossomos, todos eles sintetizando cadeias polipeptídicas idênticas. [Imagens sem escala, cores-fantasia.]

QUESTÕES PARA PENSAR E DISCUTIR

Questões objetivas

- Qual das alternativas melhor define um gene?
 - O mesmo que cromossomo.
 - Qualquer segmento de molécula de DNA.
 - O conjunto de moléculas de DNA de uma espécie.
 - Um segmento de molécula de DNA que transcreve um RNA.
- O material hereditário dos seres vivos é
 - a desoxirribose.
 - o ácido desoxirribonucleico (DNA).
 - o ácido ribonucleico (RNA).
 - a base nitrogenada.

Considere as alternativas a seguir para responder às questões de 3 a 5.

 - Base nitrogenada.
 - Desoxirribose.
 - Nucleotídio.
 - Uracila.
- Qual é o nome de cada uma das unidades (monômeros) que constituem o polímero conhecido pela sigla DNA?
- Qual das substâncias apresentadas é capaz de formar pontes de hidrogênio e está presente no DNA?
- Como se denomina o glicídio com cinco átomos de carbono (pentose) que entra na composição do DNA?
- O modo pelo qual uma molécula de DNA se reproduz é chamado de
 - duplicação conservativa.
 - duplicação semiconservativa.
 - reprodução assexuada.
 - reprodução sexuada.
- A polimerase do DNA é uma enzima que
 - separa as duas cadeias de um DNA.
 - atua na produção de nucleotídios.
 - sintetiza RNA a partir de um molde de DNA.
 - promove a união entre desoxirribonucleotídios.
- Ácido ribonucleico é
 - sempre uma molécula com duas cadeias unidas em dupla-hélice.
 - o nome dos monômeros que formam o RNA.
 - um polímero de ribonucleotídios.
 - sinônimo de DNA.

Considere as alternativas a seguir para responder às questões 10 e 11.

- Duplicação gênica.
 - Permutação gênica.
 - Tradução gênica.
 - Transcrição gênica.
- Qual é o nome do processo de síntese de RNA a partir de DNA?
 - Como se denomina o processo de síntese de um

polipeptídio a partir de uma informação codificada na sequência de bases do RNA?

- A polimerase do RNA é uma enzima que
 - sintetiza a base nitrogenada uracila.
 - atua na síntese dos ribonucleotídios.
 - sintetiza RNA a partir de uma molécula de DNA.
 - promove a união entre desoxirribonucleotídios.

Considere as alternativas a seguir para responder às questões de 13 a 16.

 - Ribossomo.
 - RNA mensageiro.
 - RNA ribossômico.
 - RNA transportador.

- Qual é o polinucleotídio que possui a informação para a proteína a ser produzida na tradução gênica?
- Como se chama a molécula responsável pela condução dos aminoácidos até o local da transcrição gênica?
- Como se denomina a estrutura constituída por proteína e ácido nucleico que dá suporte e catalisa a síntese de proteína nas células vivas?
- Qual é o polinucleotídio que, associado a proteínas, forma as partículas citoplasmáticas onde ocorre a tradução gênica?

Considere as alternativas a seguir para responder às questões de 17 a 19.

 - Anticódon.
 - Código genético.
 - RNA ribossômico.
 - Fator de liberação.

- Como se denomina o sistema de correspondência entre trincas de bases nitrogenadas do RNA mensageiro e aminoácidos na proteína?
- Qual é o nome de cada trinca de bases no RNA mensageiro que determina a incorporação de um aminoácido na cadeia polipeptídica em formação?
- Qual é o nome da trinca de bases do RNA transportador que corresponde a uma trinca do RNA mensageiro?

Utilize o enunciado, a tabela e as alternativas (a, b, c e d) a seguir para responder às questões de 20 a 24.

Um pesquisador analisou algumas amostras de substâncias extraídas e purificadas de um organismo. Informações sobre essas moléculas quanto ao tipo de monômero que apresentam, quanto à presença de uracila ou de timina e quanto à presença de ribose ou de desoxirribose estão reunidas na tabela a seguir.

Substância	Monômero	Uracila	Timina	Glicídio
I	aminoácido	ausente	ausente	ausente
II	nucleotídio	presente	ausente	ribose
III	nucleotídio	?	?	desoxirribose
IV	nucleotídio	?	?	ribose
V	nucleotídio	?	?	?

- Um ácido nucleico do tipo RNA.
 - Um ácido nucleico do tipo DNA.
 - Um ácido nucleico, que pode ser tanto DNA quanto RNA.
 - Um polipeptídio.
- O que é a substância I?

21. O que é a substância II?
22. O que é a substância III?
23. O que é a substância IV?
24. O que é a substância V?
25. Se as ligações de hidrogênio de uma molécula de DNA forem quebradas, obtêm-se
 - a) bases nitrogenadas livres.
 - b) cadeias polinucleotídicas isoladas.
 - c) desoxirriboses livres.
 - d) nucleotídios livres.
26. Uma substância constituída por um fosfato, uma pentose e uma base nitrogenada unidos entre si é um
 - a) ácido nucleico.
 - c) nucleotídio.
 - b) aminoácido.
 - d) polipeptídio.
27. Dizer que as duas cadeias de uma molécula de DNA são complementares significa que
 - a) elas têm os mesmos tipos de bases nitrogenadas.
 - b) uma delas é formada apenas pelas bases A e T, e a outra, por C e G.
 - c) uma delas é formada apenas pelas bases A e G, e a outra, por T e C.
 - d) onde houver uma base A em uma delas, haverá um T na outra, e onde houver um C em uma cadeia, haverá um G na outra.
28. Um pesquisador determinou que a sequência de bases de um segmento de molécula de DNA é ATTACGAGGTACATTTCG. A sequência de bases do segmento correspondente da cadeia complementar
 - a) será ATTACGAGGTACATTTCG.
 - b) será GCCGTAGAACGTGCCTA.
 - c) será TAATGCTCCATGTAAAGC.
 - d) não pode ser determinada.
29. Um cromossomo possui
 - a) inúmeras moléculas de DNA intercaladas com moléculas de proteína.
 - b) inúmeras moléculas de DNA intercaladas com moléculas de RNA.
 - c) inúmeras moléculas de DNA intercaladas com complexos de RNA e proteínas.
 - d) uma única molécula de DNA que o percorre de ponta a ponta.
30. Uma célula humana, que possui 46 cromossomos, terá, após a duplicação de seu material genético,
 - a) 46 moléculas de DNA.
 - b) 46 moléculas de DNA e 46 moléculas de RNA.
 - c) 92 moléculas de DNA.
 - d) 92 moléculas de RNA.

Considere as alternativas a seguir para responder às questões 31 e 32.

 - a) Anticódon.
 - b) Códon.
 - c) Região promotora.
 - d) Sequência de término de transcrição.
31. Como se chama a sequência de bases nitrogenadas do DNA à qual se liga a polimerase do RNA para dar início à síntese do RNA?
32. Qual é a denominação do conjunto de bases nitrogenadas do DNA que indica o fim de um gene?

33. O RNA transportador (RNAt) é sintetizado
 - a) no cromossomo, tendo como molde o DNA.
 - b) no cromossomo, tendo como molde proteínas.
 - c) no ribossomo, tendo como molde o RNAr.
 - d) no nucléolo, tendo como molde o RNAm.
34. O RNA mensageiro (RNAm) é sintetizado
 - a) no cromossomo, tendo como molde o DNA.
 - b) no cromossomo, tendo como molde o RNAt.
 - c) no nucléolo, tendo como molde o DNA.
 - d) no ribossomo, tendo como molde o RNAr.
35. O RNA ribossômico (RNAr) é sintetizado a partir de um(a)
 - a) DNA.
 - c) RNAt.
 - b) RNAm.
 - d) proteína.
36. A síntese de um polipeptídio tem início sempre na
 - a) primeira trinca de bases de uma molécula de RNA mensageiro, seja ela qual for.
 - b) primeira trinca AUG de uma molécula de RNA mensageiro, a qual codifica o aminoácido metionina.
 - c) região promotora da molécula de RNA ribossômico.
 - d) trinca de bases imediatamente seguinte a um anticódon qualquer.
37. A síntese de um polipeptídio termina quando o ribossomo encontra, na molécula de RNA mensageiro que está sendo traduzida,
 - a) um códon AUG.
 - b) um dos três códons de parada, para os quais não há RNAt correspondentes.
 - c) uma região promotora.
 - d) uma sequência de término de transcrição.
38. Uma cadeia polipeptídica é sintetizada por
 - a) apenas um ribossomo, que se desloca sobre o RNA mensageiro desde um códon AUG até um códon de parada.
 - b) apenas um ribossomo, que se desloca sobre o RNA mensageiro desde a região promotora até um anticódon.
 - c) inúmeros ribossomos, que se dispõem em sequência sobre o RNA mensageiro, cada um deles associado a um códon.
 - d) inúmeros ribossomos, que se dispõem em sequência sobre o RNA mensageiro, cada um deles associado a dois códons vizinhos.
39. Um polirribossomo (ou polissomo) é um conjunto de ribossomos
 - a) associados ao segmento de DNA responsável pela síntese do RNAr.
 - b) deslocando-se sobre um RNA mensageiro, cada um deles produzindo uma cadeia polipeptídica.
 - c) dispostos em sequência sobre um RNA mensageiro, todos contribuindo para produzir uma única cadeia polipeptídica.
 - d) associados a diversas moléculas de RNA mensageiro.

❏ Questões discursivas

40. A sequência a seguir representa uma molécula de RNA mensageiro cuja tradução ocorre da esquerda para a direita.



ACUGACAUGUUACUC ACUAUUUGACAGGUAA

Tendo por base a tabela de código genético da figura 10.7, na página 227, determine:

- o códon a partir do qual será iniciada a cadeia polipeptídica;
- o último códon com aminoácido correspondente na cadeia polipeptídica;
- a sequência de aminoácidos da cadeia polipeptídica codificada por esse RNA.

41. Escreva, no caderno, a sequência de bases das duas cadeias do DNA a partir do qual foi transcrito o RNA mencionado na questão anterior, indicando qual das cadeias foi transcrita pela polimerase do RNA.

VESTIBULARES PELO BRASIL

Questões objetivas

1. (UFPA) Em 1953, Watson e Crick decifraram que a estrutura da molécula de DNA (ácido desoxirribonucleico) é uma dupla-hélice, responsável pelas características dos organismos.

Com os conhecimentos atuais, julgue as afirmativas sobre a molécula de DNA.

- Na autoduplicação da molécula de DNA, cada filamento original serve de molde para a síntese de um novo filamento (duplicação semiconservativa).
- A base nitrogenada adenina emparelha-se com a citosina, enquanto a timina emparelha-se com a guanina.
- As bases nitrogenadas dos dois filamentos estão unidas por ligações denominadas pontes de hidrogênio.

Está(ão) correta(s) a(s) afirmativa(s)

- I somente.
- II somente.
- I e II.
- I e III.
- II e III.

2. (Ufam) A produção de uma proteína é processada basicamente em duas fases. Observando o esquema abaixo, encontre a alternativa correspondente:

Gene (DNA) → RNA → Proteína

- Transmissão; Tradução
- Transcrição; Tradução
- Tradução; Transcrição
- Transcrição; Transcrição
- Tradução; Tradução

3. (Uespi) Em um experimento, foi observado que, no DNA de um determinado organismo, o conteúdo de citosina era de 30%. Determine na tabela abaixo a alternativa que indica corretamente os percentuais de guanina, adenina e timina.

	Guanina	Adenina	Timina
a)	15%	35%	35%
b)	20%	25%	25%
c)	30%	20%	20%
d)	10%	10%	10%
e)	35%	25%	10%

4. (Uece) Um oligopeptídeo que possui a molécula metionina, que é codificada pelo códon AUG, pode ter sido codificado por um segmento de DNA que não possui

- adenina.
- citosina.
- guanina.
- timina.

5. (Unifor-CE) Considere um RNA transportador cujo anticódon é CUG. O códon correspondente no RNA mensageiro e a trinca de nucleotídeos na fita do DNA que é transcrita são, respectivamente,
- CTG e GAC.
 - TAC e GUC.
 - AUT e CAG.
 - CUG e CTG.
 - GAC e CTG.

6. (Uerj)

É como se em cada quarto de um imenso prédio existisse uma estante contendo os planos do arquiteto para todo o prédio. [...] No homem, os planos do arquiteto montam 46 volumes.

Nessa analogia, proposta por Richard Dawkins no livro *O gene egoísta*, cada página de cada volume contém um texto formado por uma sequência de

- fenótipos.
- aminoácidos.
- cromossomos.
- bases nitrogenadas.

7. (Fuvest-SP) Quando afirmamos que o metabolismo da célula é controlado pelo núcleo celular, isso significa que

- todas as reações metabólicas são catalisadas por moléculas e componentes nucleares.
- o núcleo produz moléculas que, no citoplasma, promovem a síntese de enzimas catalisadoras das reações metabólicas.
- o núcleo produz e envia, para todas as partes da célula, moléculas que catalisam as reações metabólicas.
- dentro do núcleo, moléculas sintetizam enzimas catalisadoras das reações metabólicas.
- o conteúdo do núcleo passa para o citoplasma e atua diretamente nas funções celulares, catalisando as reações metabólicas.

8. (Fuvest-SP) Existe um número muito grande de substâncias com funções antibióticas. Essas substâncias diferem quanto à maneira pela qual interferem no metabolismo celular. Assim, a tetraciclina liga-se aos ribossomos e impede a ligação do RNA transportador; a mitomicina inibe a ação da polimerase do DNA e a estreptomicina causa erros na leitura dos códons do RNA mensageiro.

Essas informações permitem afirmar que

- a tetraciclina impede a transcrição e leva a célula bacteriana à morte por falta de RNA mensageiro.
- a mitomicina, por inibir a duplicação do DNA, impede a multiplicação da célula bacteriana.
- a estreptomicina interfere na tradução e leva a célula bacteriana a produzir proteínas defeituosas.

Das afirmativas acima

- apenas I é correta.
- apenas I e II são corretas.
- apenas II e III são corretas.
- apenas I e III são corretas.
- I, II e III são corretas.

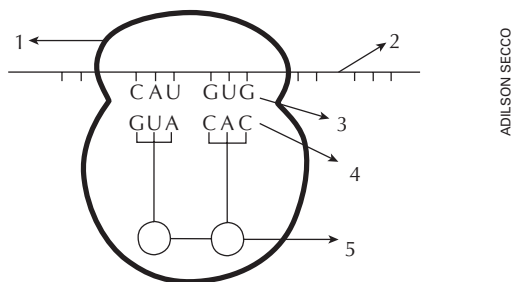
9. (PUC-Minas) Suponha uma extensão de molde de DNA, com a seguinte sequência de desoxirribonucleotídeos ATACGA.

É **incorreto** afirmar:

- Os códons especificados por essa sequência são UAUGCU.

- b) Os anticódons complementares ao RNAm, produzidos por essa sequência, são AUACGA.
c) Os ribonucleotídeos, especificados por essa sequência, são TATGCT.
d) O fio de DNA complementar ao filamento dado é TATGCT.
e) Essa sequência codifica dois aminoácidos.

10. (Unip-SP-Adaptado) No desenho abaixo, aparece uma das etapas da síntese de proteínas. Qual é a alternativa que, corretamente, identifica as estruturas numeradas de 1 a 5?



	Ribossomo	Aminoácido	Códon	RNAm	Anticódon
a)	1	2	3	4	5
b)	1	5	4	2	3
c)	1	5	3	2	4
d)	5	1	2	4	3
e)	2	1	3	5	4

11. (Unifesp) Os códons AGA, CUG e ACU do RNA mensageiro codificam, respectivamente, os aminoácidos arginina, leucina e treonina. A sequência desses aminoácidos na proteína correspondente ao segmento do DNA que apresenta a sequência de nucleotídeos GAC TGA TCT será, respectivamente,
a) treonina, arginina, leucina.
b) arginina, leucina, treonina.
c) leucina, arginina, treonina.
d) treonina, leucina, arginina.
e) leucina, treonina, arginina.
12. (UFMS-RS) Em relação ao pareamento típico de bases na molécula de DNA, determine a alternativa correta.
a) C ≡ G; A = T; A = T; C ≡ G; T = A; C ≡ G; G ≡ C
b) C ≡ C; A = A; A = A; C ≡ C; T = T; C ≡ C; G ≡ G
c) A ≡ G; C = T; C = T; A ≡ G; T = C; A ≡ G; G ≡ A
d) T ≡ G; A = C; T ≡ G; C = A; T ≡ G; G ≡ T; A = C
e) A = C; C = A; C = T; T = C; G ≡ A; A ≡ G; A = T
13. (UFMS-RS-Adaptado)



No esquema, o número 1 corresponde ao processo de (■); o número 2, ao processo de (■); e o número 3, ao processo de (■). Nas células eucarióticas, os processos representados pelos números 1 e 2 ocorrem no (■).

Qual é a alternativa que apresenta os termos que substituem corretamente os quadros escuros da afirmação acima?

- a) transcrição – replicação – tradução – núcleo
b) replicação – tradução – transcrição – citoplasma
c) transcrição – tradução – replicação – núcleo
d) replicação – transcrição – tradução – citoplasma
e) replicação – transcrição – tradução – núcleo

14. (UFSC) O segmento de DNA humano que contém informação para a síntese da enzima pepsina é um
a) cariótipo. d) genoma.
b) cromossomo. e) gene.
c) códon.

Questões discursivas

15. (UFRJ) A soma das porcentagens de guanina e citosina em certa molécula de ADN é igual a 58% do total de bases presentes.
a) Indique as porcentagens das quatro bases, adenina (A), citosina (C), guanina (G) e timina (T), nessa molécula.
b) Explique por que é impossível prever a proporção de citosina presente no ARN mensageiro codificado por esse trecho de ADN.
16. (UFRJ) Um cientista analisou o conteúdo de bases nitrogenadas de uma amostra pura de DNA, correspondente a um determinado gene. Os valores encontrados estão na tabela abaixo:

Tipos de base	Adenina	Citosina	Timina	Guanina
Números de base	257	485	106	270

O cientista interpretou esses resultados como sendo compatíveis com um DNA, cuja molécula é formada apenas por uma cadeia (um filamento). Justifique a conclusão do cientista.

17. (Unicamp-SP) Em 25 de abril de 1953, um estudo de uma única página na revista inglesa *Nature* intitulado *A estrutura molecular dos ácidos nucleicos*, quase ignorado de início, revolucionou para sempre todas as ciências da vida, sejam elas do homem, rato, planta ou bactéria. James Watson e Francis Crick descobriram a estrutura do DNA, que permitiu posteriormente decifrar o código genético determinante para a síntese proteica.
a) Watson e Crick demonstraram que a estrutura do DNA se assemelha a uma escada retorcida. Explique a que correspondem os “corrimãos” e os “degraus” dessa escada.
b) Que relação existe entre DNA, RNA e síntese proteica?
c) Como podemos diferenciar duas proteínas?
18. (Fuvest-SP) Uma alteração no DNA pode modificar o funcionamento de uma célula? Por quê?
19. (Unicamp-SP) Ribossomos são formados por RNA e proteínas, sintetizados pelos processos de transcrição e tradução, respectivamente.
a) Onde esses processos ocorrem na célula eucariótica?
b) O que acontecerá com os processos de transcrição e tradução se ocorrer uma inativação na região organizadora do nucléolo? Justifique.

Capítulo 11

Tecidos epiteliais e tecidos conjuntivos

Questão de pele

Você já ouviu a expressão popular “questão de pele”, geralmente empregada para ressaltar a grande “sensibilidade” de uma pessoa em relação a outra? A sabedoria popular tem razão: a pele é, de fato, uma fronteira sensorial dotada de milhões e milhões de sensores de diversos tipos, que nos possibilitam elevada capacidade de perceber o que se passa ao redor, desde se está calor ou frio até percepções sutis como as que envolvem “questões de pele”.

Animais e plantas são formados por diversos conjuntos de células especializados em executar funções definidas: os tecidos corporais.

Neste capítulo estudaremos dois importantes grupos de tecidos: o tecido epitelial, responsável pela formação das glândulas e pela delimitação das fronteiras do corpo humano, e os tecidos conjuntivos, que dão “conjunto” ao corpo, conectando outros tecidos. Entre estes últimos incluem-se os tecidos cartilaginoso e ósseo, responsáveis pela sustentação do corpo dos animais vertebrados.

11.1 Estrutura e função dos tecidos epiteliais

A principal característica dos tecidos epiteliais é apresentar células bem unidas entre si. Os epitélios revestem externa e internamente o corpo humano, além de constituírem as glândulas, que secretam substâncias úteis ao organismo.

11.2 Estrutura e função dos tecidos conjuntivos

A principal característica dos tecidos conjuntivos é apresentar células bem separadas umas das outras pela matriz extracelular, cuja composição caracteriza os diversos tipos de tecido conjuntivo.

11.3 Tecidos epitelial e conjuntivo na pele humana

A pele humana é um órgão que desempenha importantes funções no organismo. Sua camada mais externa é a epiderme, um tecido epitelial; sua camada mais interna, a derme, é constituída por tecidos conjuntivos.

11.4 Tecidos conjuntivos especiais

O tecido cartilaginoso e o tecido ósseo são dois tipos especiais de tecido conjuntivo, especializados na sustentação do corpo, entre outras funções.



Sapo

A pele dos anfíbios é permeável e desempenha papel fundamental na absorção de água e nas trocas gasosas. O grande número de glândulas presentes lubrifica a pele e, em algumas espécies, secreta toxinas que servem como defesa contra predadores.

Iguana

A pele dos lagartos é espessa e impermeável, recoberta por escamas córneas. Acredita-se que esse revestimento corporal impermeável tenha sido um fator que possibilitou a ocupação do ambiente terrestre pelos répteis. A coloração das escamas córneas pode variar. No caso dos iguanas, predomina a cor verde.



Espécie humana

A pele dos mamíferos é rica em glândulas, como as sebáceas – que produzem substâncias lubrificantes – e as mamárias – que produzem leite.

A presença destas últimas é a característica típica dos mamíferos e inspirou o nome do grupo.

Pirarucu

As escamas de muitos peixes, como o pirarucu, estão dispostas sob a epiderme, como as telhas bem-encaixadas de um telhado, e protegem o corpo, como uma armadura flexível. Além disso, glândulas epidérmicas lubrificam a superfície corporal, reduzindo o atrito com a água durante a natação.

Elefante

Em certas partes do corpo, a pele dos elefantes pode chegar a 2,5 cm de espessura. Atrás de suas grandes orelhas, porém, a pele é fina e muito vascularizada. Ao abanar as orelhas, os elefantes, que não têm glândulas sudoríparas, resfriam o corpo.

Arara

A pele das aves apresenta estruturas únicas: as penas. Estas constituem um revestimento corporal leve, resistente e impermeável. A coloração variada e vibrante das penas de aves, como as araras, tem função na camuflagem e no comportamento reprodutivo.



Para pensar

Você conhece seu corpo e certamente sabe os locais em que a pele é mais “sensível”. O que isso quer dizer? Como você relacionaria esses locais do corpo às suas respectivas funções?

As imagens destacadas nesta abertura foram ampliadas para melhor visualização.

» Habilidades sugeridas

- Valorizar os conhecimentos sobre a estrutura e o funcionamento do corpo humano, reconhecendo a importância desse saber tanto para compreender melhor as características físicas como para prevenir eventuais distúrbios que comprometam nossa saúde.
- Conhecer os principais tipos de epitélios de revestimento, exemplificando locais do corpo em que eles ocorrem.
- Reconhecer que as glândulas são formadas por tecido epitelial, distinguindo e exemplificando glândulas exócrinas e glândulas endócrinas.

» Conceitos principais

- multicelular
- tecido
- Histologia
- tecido epitelial
- epitélio glandular
- glândula exócrina
- glândula endócrina

Estrutura e função dos tecidos epiteliais

Todos os animais e plantas são organismos **multicelulares**, constituídos por um número de células que varia de dezenas a trilhões, dependendo da espécie. Nesses organismos, as células estão organizadas em **tecidos**, conjuntos celulares especializados em realizar diversas funções. O corpo humano, por exemplo, é constituído por cerca de 100 trilhões de células e apresenta centenas de tipos celulares, agrupados em 4 tipos básicos: **epitelial, conjuntivo, muscular e nervoso**.

O ramo da Biologia que estuda os tecidos é a **Histologia** (do grego *histo*, tecido, e *logos*, estudo). Neste capítulo e nos capítulos seguintes estudaremos os tecidos que constituem os animais vertebrados, em particular a espécie humana.

Os **tecidos epiteliais**, também denominados **epitélios**, desempenham diversas funções no organismo, dependendo do órgão onde se localizam. Suas principais funções são: a) proteção; b) absorção e secreção de substâncias; c) percepção de sensações. Quanto à função geral, os epitélios são classificados em dois tipos principais: epitélios de revestimento e epitélios glandulares.

1 Epitélios de revestimento

As células epiteliais são perfeitamente ajustadas entre si e unidas umas às outras por pequena quantidade de material cimentante. Nos tecidos epiteliais, não há vasos sanguíneos: as células recebem gás oxigênio e nutrientes por difusão a partir de tecidos conjuntivos próximos. O gás carbônico e as excreções produzidas no metabolismo das células epiteliais difundem-se no sentido inverso.

Os epitélios de revestimento são classificados quanto ao número de camadas celulares e quanto à forma das células, principalmente as da camada mais externa, no caso de haver várias camadas celulares. (Tab 11.1 e Fig. 11.1)

Tabela 11.1 Classificação dos epitélios de revestimentos

Critério	Nome	Características
Número e aparência das camadas celulares	Simplex ou uniestratificado	Uma única camada de células
	Estratificado	Mais de uma camada de células
	Pseudoestratificado	Uma única camada de células, com núcleos em diferentes alturas
Forma das células	Pavimentoso	Células achatadas
	Cúbico	Células cúbicas
	Prismático	Células prismáticas alongadas
	De transição	Células arredondadas que se tornam achatadas quando submetidas a estiramentos



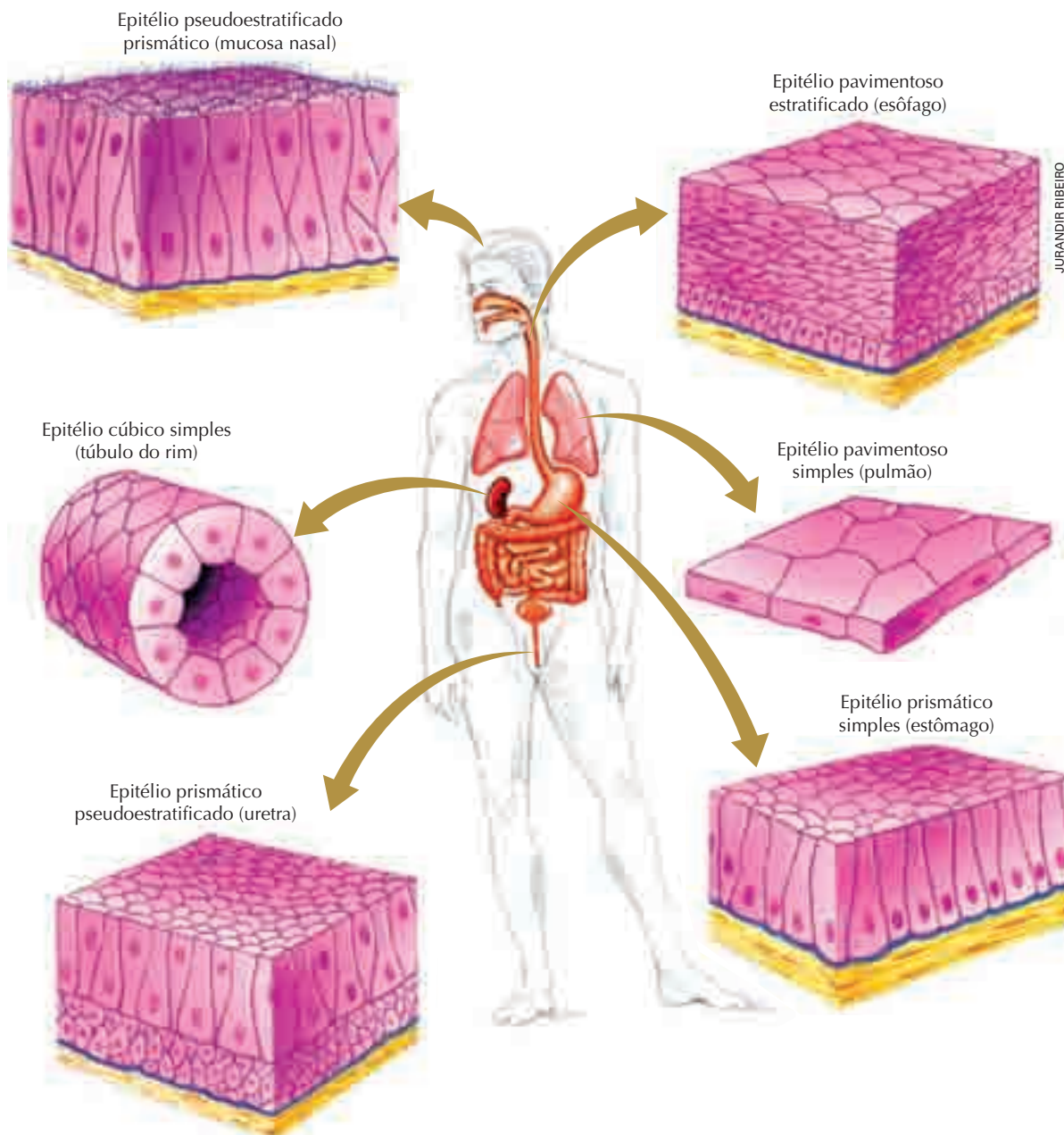


Figura 11.1 Representação esquemática da estrutura de alguns tipos de epitélio de revestimento presentes no corpo humano. (Imagens sem escala, cores-fantasia.) (Baseado em Campbell, N. e cols., 1999.)

2 Epitélios glandulares

O **epitélio glandular** constitui as **glândulas**, cujas células são especializadas na produção e secreção de substâncias úteis ao organismo. Quanto à forma de secretar, as glândulas podem ser classificadas em dois tipos: exócrinas e endócrinas.

Glândulas exócrinas (do grego *exos*, fora, e *krinos*, secretar) apresentam um canal, ou **ducto**, por onde as secreções são eliminadas para fora do corpo ou para cavidades internas de órgãos. As glândulas sudoríparas, por exemplo, eliminam o suor por um ducto que se abre na superfície externa da pele, enquanto as glândulas salivares eliminam a saliva por ductos que se abrem na cavidade bucal.

Glândulas endócrinas (do grego *endos*, dentro) não têm ducto e eliminam as secreções, genericamente chamadas de **hormônios**, diretamente no sangue. A glândula tireóide, por exemplo, é uma glândula endócrina localizada na região do pescoço e que produz e libera no sangue o hormônio tiroxina.

Uma das glândulas de nosso corpo, o **pâncreas**, desempenha simultaneamente funções endócrinas e exócrinas. Por isso, o pâncreas é considerado uma glândula **mista**, ou **anfícrina** (do grego *amphi*, dois). (Fig. 11.2)

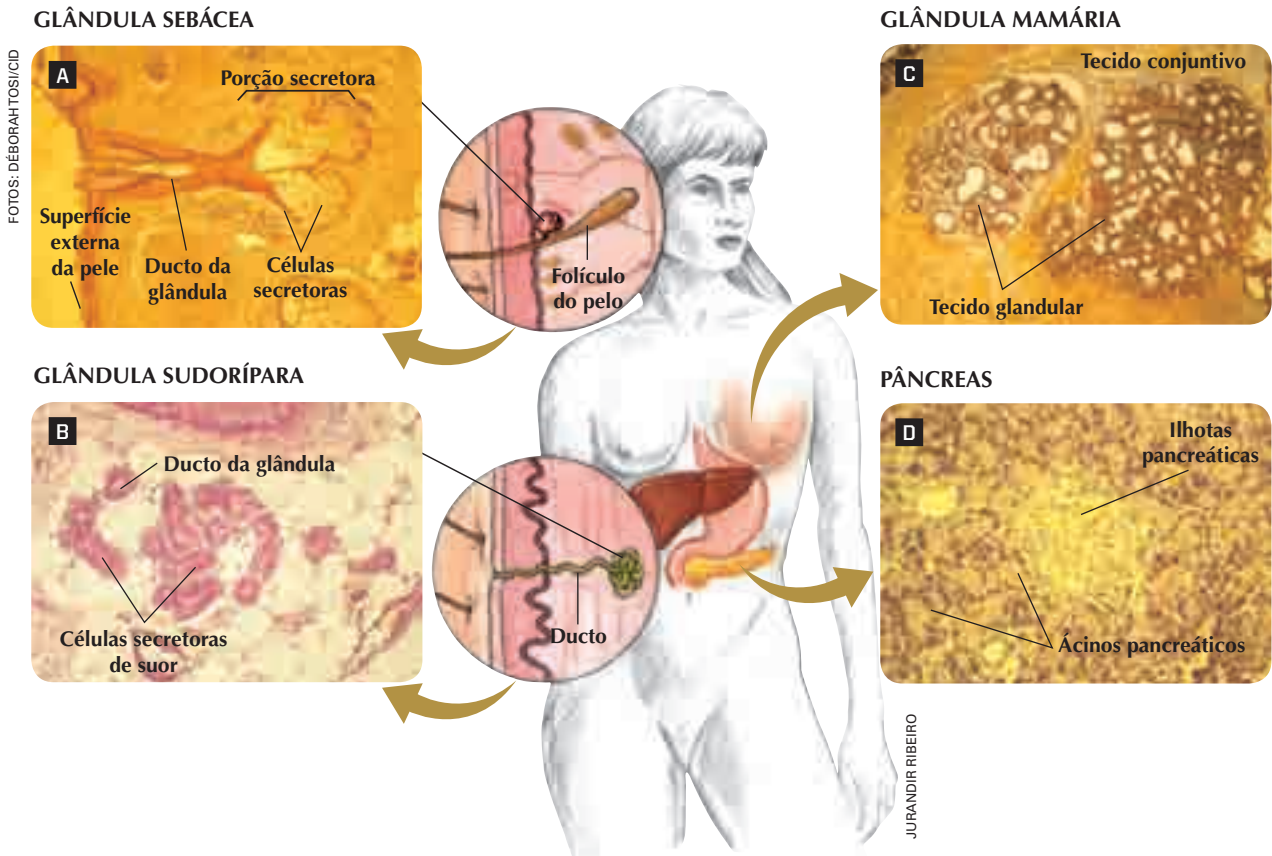


Figura 11.2 Representação esquemática da localização de algumas glândulas exócrinas do corpo humano e micrografias de suas estruturas, ao microscópio óptico. (Imagens sem escala, cores-fantasia.) **A.** Glândula sebácea, localizada junto ao folículo do pelo (aumento $\approx 35\times$). **B.** Glândula sudorípara, que se abre na superfície da pele (aumento $\approx 75\times$). **C.** Glândula mamária, que produz leite (aumento $\approx 25\times$). **D.** Pâncreas, glândula mista com parte exócrina (ácinos pancreáticos) e endócrina (ilhotas pancreáticas) (aumento $\approx 45\times$).

Origem das glândulas

As glândulas formam-se na fase embrionária da vida, a partir de uma superfície epitelial. As células epiteliais se multiplicam e formam um cordão celular que se aprofunda nos tecidos mais internos.

Nas glândulas exócrinas, a parte mais profunda do cordão de células se desenvolve e assume a função secretora, enquanto o restante do cordão celular forma o ducto, pelo qual a secreção é eliminada para fora da glândula. (Fig. 11.3)

TIPOS DE GLÂNDULAS EXÓCRINAS

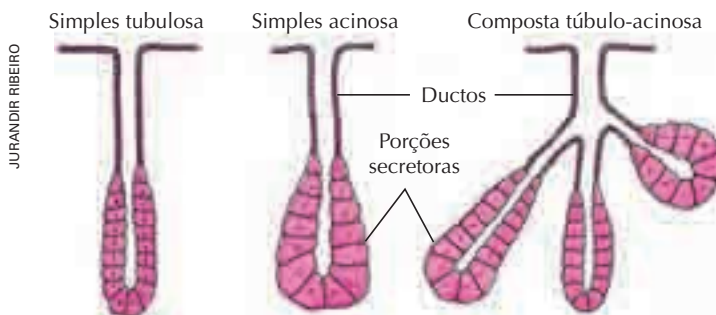


Figura 11.3 O esquema mostra três tipos de glândula exócrina. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)

Nas glândulas endócrinas, a parte mais profunda do cordão celular isola-se da superfície epitelial e não se forma ducto. As secreções das glândulas endócrinas são eliminadas para vasos sanguíneos localizados no interior da própria glândula ou em torno dela.

Habilidades sugeridas

- Compreender a estrutura geral dos principais tipos de tecido conjuntivo.
- Reconhecer o papel de fibroblastos, macrófagos, mastócitos e células mesenquimatosas indiferenciadas nos tecidos conjuntivos.

Conceitos principais

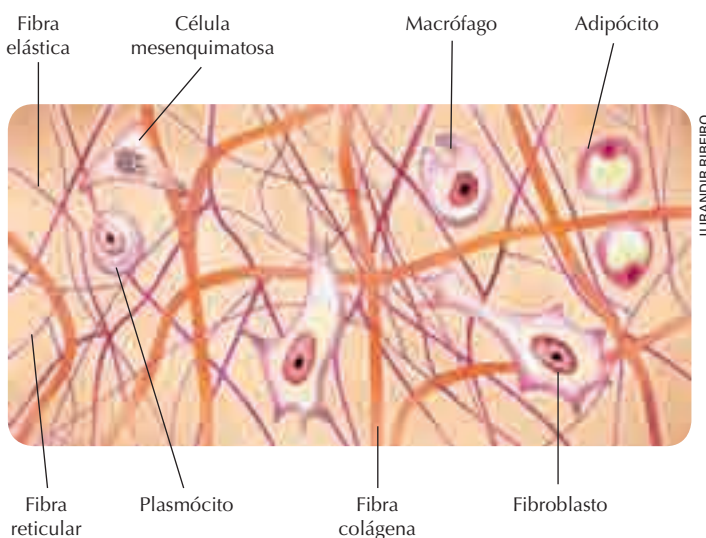
- tecido conjuntivo
- tecido conjuntivo frouxo
- tecido adiposo
- tecido conjuntivo denso

Estrutura e função dos tecidos conjuntivos

1 Características gerais dos tecidos conjuntivos

Os **tecidos conjuntivos** são constituídos predominantemente por células mergulhadas em material intercelular – a **matriz extracelular** –, cuja composição caracteriza os diversos tipos de tecido conjuntivo. A matriz extracelular consiste em uma rede de fibras de proteínas e em uma **substância fundamental amorfa**, material cuja consistência pode variar, desde líquida até relativamente sólida.

As fibras de proteínas dos tecidos conjuntivos podem ser de três tipos: colágenas, elásticas e reticulares. (Fig. 11.4)



TPG/AGB



ANDREAS KUEHN/TAXI/GETTY IMAGES



Figura 11.4 As fibras de proteínas presentes nos tecidos conjuntivos dérmicos conferem resistência e elasticidade à pele humana. À medida que envelhecemos, as fibras alteram-se e a pele torna-se menos elástica e menos hidratada, surgindo as rugas. A representação esquemática mostra os tipos de fibras e células da derme. (Imagem sem escala, cores-fantasia.)

Os histologistas classificam os tecidos conjuntivos em dois grandes grupos: tecidos conjuntivos propriamente ditos e tecidos conjuntivos especiais. Os primeiros são divididos em frouxo e denso, sendo este último ainda subdividido em modelado e não modelado.

Os tecidos conjuntivos especiais são: tecido adiposo, constituído por células que armazenam gordura; tecido cartilaginoso, que constitui as cartilagens; tecido ósseo, que constitui os ossos; tecido hematopoiético, ou hemocitopoético, que origina as células sanguíneas. (Fig. 11.5)

O sangue é considerado um tecido conjuntivo cujas células estão imersas em uma matriz intercelular líquida, o plasma sanguíneo. Por suas características especiais e importância no organismo, o sangue é estudado separadamente e com mais detalhes no capítulo seguinte.

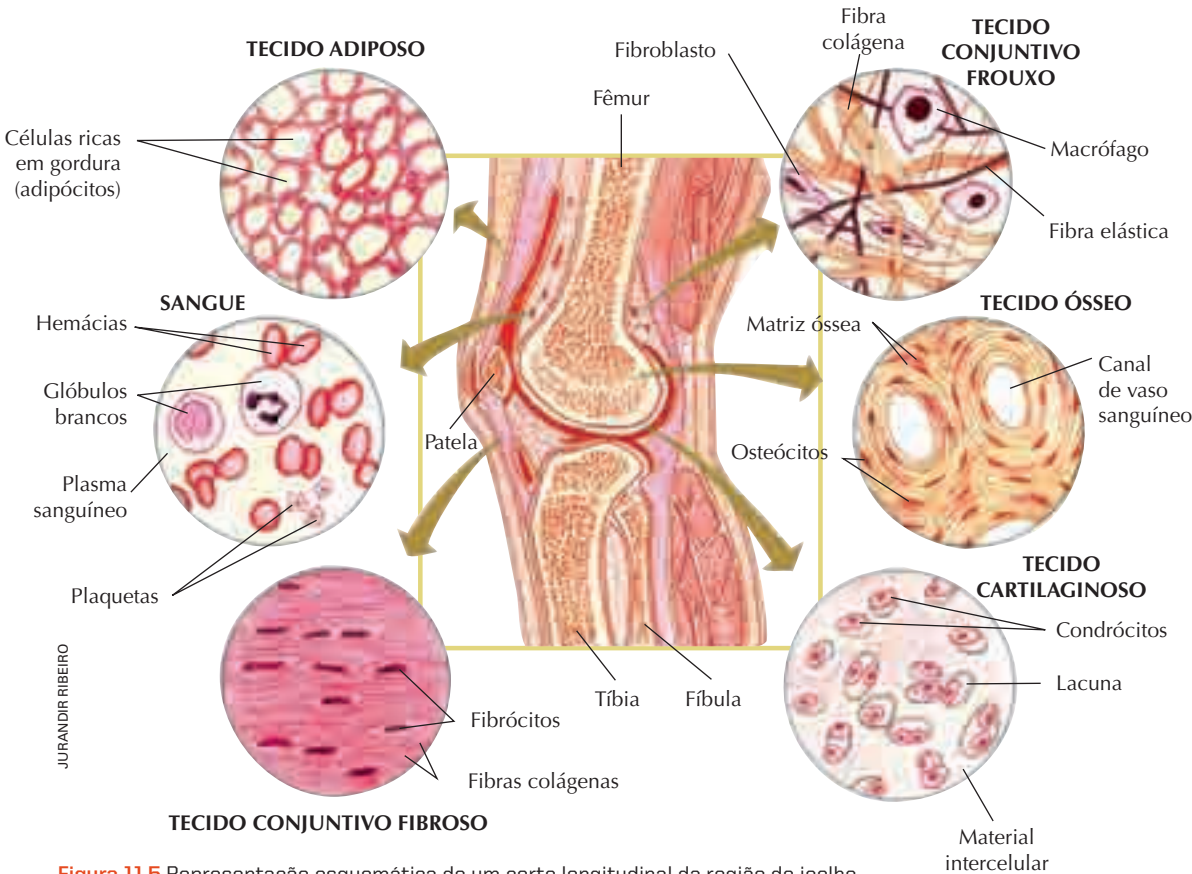


Figura 11.5 Representação esquemática de um corte longitudinal da região do joelho humano, mostrando a localização de diversos tipos de tecido conjuntivo. [Imagens sem escala, cores-fantasia.] (Baseado em Campbell, N. e cols., 1999.)

A tabela a seguir apresenta os principais tipos de tecidos conjuntivos (**Tab. 11.2**).

Tabela 11.2 Classificação dos tecidos conjuntivos			
Tecido conjuntivo	Tecido conjuntivo propriamente dito	Frouxo	
		Denso	Denso modelado (ou tendinoso)
			Denso não modelado (ou fibroso)
	Tecidos conjuntivos especiais	Adiposo	
		Cartilaginoso	
		Ósseo	
		Hematopoiético (hemocitopoético)	

2

Tecidos conjuntivos propriamente ditos

Os tecidos conjuntivos propriamente ditos estão amplamente distribuídos no corpo humano. O **tecido conjuntivo frouxo** consiste em uma rede frouxa de fibras elásticas e de finas fibras colágenas dispostas em todas as direções; os grandes espaços entre as fibras são ocupados por uma matriz semifluida e por células conjuntivas. Esse tipo de tecido está presente nas diversas partes do corpo e sua principal função é unir estruturas corporais, porém possibilitando certa liberdade de movimento entre elas.

Um tipo especial de tecido conjuntivo frouxo é o **tecido adiposo**, que apresenta **células adiposas**, ou adipócitos, especializadas no armazenamento de substâncias lipídicas (triglicerídios). Os adipócitos originam-se de células indiferenciadas conhecidas como células mesenquimatosas.

As células adiposas podem estar dispersas ou formar pequenos grupos nos tecidos conjuntivos frouxos. Também podem estar reunidas em grande número formando tecidos adiposos; o principal deles é a tela subcutânea (ou hipoderme) localizada sob a pele. Certos tecidos adiposos preenchem espaços entre órgãos internos, como o espaço em torno dos rins, onde constitui uma proteção contra choques mecânicos.

O **tecido conjuntivo denso** caracteriza-se por apresentar grande quantidade de fibras, o que lhe confere resistência e densidade. Esse tecido pode ser dividido em dois grupos: tecido conjuntivo denso não modelado e tecido conjuntivo denso modelado.

O **tecido conjuntivo denso não modelado**, também chamado de tecido conjuntivo denso fibroso ou denso irregular, é relativamente pobre em células e rico em fibras colágenas entrelaçadas em três direções, o que lhe confere resistência e elasticidade. Esse tecido está presente nas cápsulas protetoras que envolvem diversos órgãos internos, como rins, baço, fígado e testículos, entre outros. O tecido conjuntivo denso não modelado é um dos constituintes da derme.

O **tecido conjuntivo denso modelado**, também denominado tecido conjuntivo denso tendinoso, caracteriza-se por apresentar grande quantidade de fibras colágenas orientadas paralelamente e em alto grau de compactação, o que o torna bastante resistente e pouco elástico. Esse tecido constitui os tendões, que ligam músculos a ossos, e os ligamentos, que ligam ossos entre si. (Fig. 11.6)

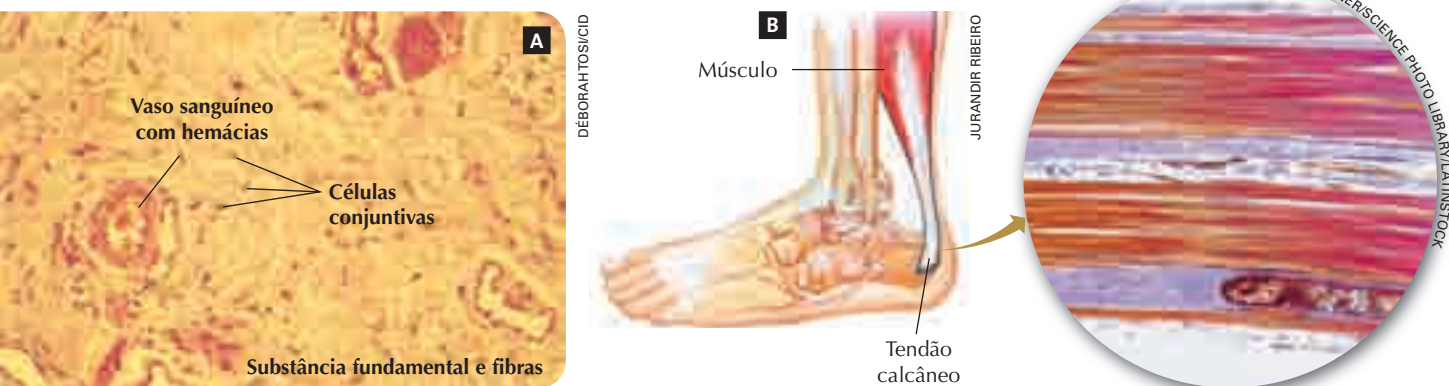
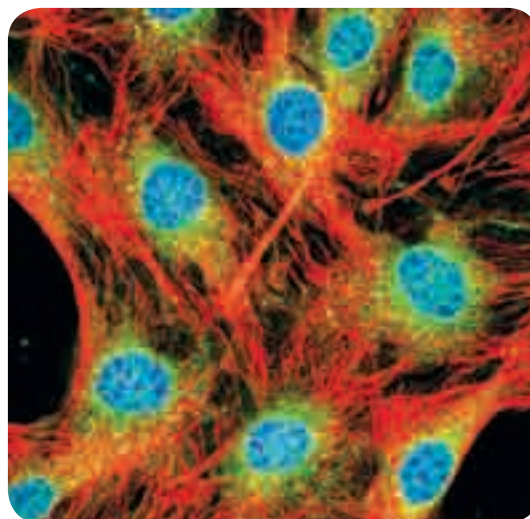


Figura 11.6 **A.** Micrografia da derme da pele humana ao microscópio óptico (aumento $\approx 95\times$). **B.** Tendão calcâneo, constituído por tecido conjuntivo modelado (tendinoso). (Imagem sem escala, cores-fantasia.) No círculo, micrografia do tecido tendinoso ao microscópio óptico. Note as fibras altamente compactadas (aumento $\approx 16.000\times$).

Células dos tecidos conjuntivos propriamente ditos

O tipo celular predominante nos tecidos conjuntivos propriamente ditos é o fibroblasto; outros tipos celulares relativamente comuns são os adipócitos e as células mesenquimatosas indiferenciadas. Além dessas células “residentes” (ou próprias), o tecido conjuntivo é sempre “visitado” por células migratórias vindas do sangue – macrófagos, linfócitos, mastócitos etc. –, relacionadas às defesas do organismo contra agentes invasores. (Fig. 11.7 e Tab. 11.3)

Figura 11.7 Micrografia de fibroblastos humanos ao microscópio óptico. As células foram coradas por corantes que fluorescem quando iluminados por luz ultravioleta. Note o núcleo, corado em azul, e os filamentos do citoesqueleto, corados em laranja e verde (aumento $\approx 550\times$).



DR. GOPAL MURTIVSCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

Tabela 11.3 Principais tipos de células dos tecidos conjuntivos		
Tipos de células	Características principais	Origem celular
Fibroblastos	Presentes nos tecidos frouxos; têm forma estrelada e núcleo grande; produzem as fibras e a substância amorfa da matriz extracelular. Quando adultos, transformam-se em fibrócitos.	Surgem pela diferenciação de células mesenquimatosas.
Macrófagos	Presentes nos tecidos frouxos; têm forma ameboide e núcleo grande. Fagocitam agentes invasores e alertam o sistema imunitário.	Surgem pela diferenciação de monócitos (tipo de célula branca do sangue). Estes, por sua vez, originam-se de células-tronco* multipotentes da medula óssea vermelha.
Mastócitos	Presentes nos tecidos frouxos; têm forma ovoides, núcleo central arredondado e muitos grânulos citoplasmáticos, ricos em heparina e histamina. Participam das reações alérgicas.	Surgem pela diferenciação de células-tronco multipotentes da medula óssea vermelha.
Plasmócitos	Presentes nos tecidos frouxos; têm forma ovoides e núcleo central arredondado, sendo rico em RE granuloso. Produzem anticorpos (imunoglobulinas) que combatem agentes invasores.	Surgem pela diferenciação de linfócitos (tipo de célula branca do sangue). Estes, por sua vez, originam-se de células-tronco multipotentes da medula óssea vermelha.
Adipócitos	Presentes no tecido adiposo; têm, quando adultos, forma arredondada, com um grande vacúolo central contendo lipídios. Armazenam substâncias energéticas para momentos de necessidade.	Surgem pela diferenciação de células mesenquimatosas.
Células mesenquimatosas	Presentes nos tecidos frouxos e nas cápsulas envoltórias de cartilagens, ossos e órgãos hemocitopoéticos. São capazes de originar diversas células do tecido conjuntivo.	Surgem diretamente de células-tronco embrionárias (totipotentes).
Condroblastos	Presentes nas cartilagens; têm forma arredondada e núcleo central. Produzem as fibras e a substância amorfa da matriz cartilaginosa. Quando adultos, transformam-se em condrócitos.	Surgem pela diferenciação de células mesenquimatosas.
Osteoblastos	Presentes nos ossos; têm núcleo central e longos prolongamentos citoplasmáticos. Produzem as fibras e a substância amorfa da matriz óssea. Quando adultos, transformam-se em osteócitos.	Surgem pela diferenciação de células mesenquimatosas.
Osteoclastos	Presentes nos ossos; são grandes e multinucleados. Degradam a matriz óssea, promovendo a reciclagem do tecido ósseo.	Surgem pela fusão e diferenciação de 6 a 50 monócitos. Estes são células brancas do sangue que se originam de células-tronco multipotentes da medula óssea vermelha.

* Células-tronco embrionárias são células totipotentes, capazes de originar todos os tipos de células do corpo. Células-tronco adultas são multipotentes, capazes de originar apenas determinados tipos de células.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Seção 11.3

Habilidade sugerida

- Conhecer a estrutura da pele humana e suas principais funções.

Conceitos principais

- pele
- epiderme
- melanócito
- melanina
- derme
- pelo
- unha
- glândula sebácea
- glândula sudorípara

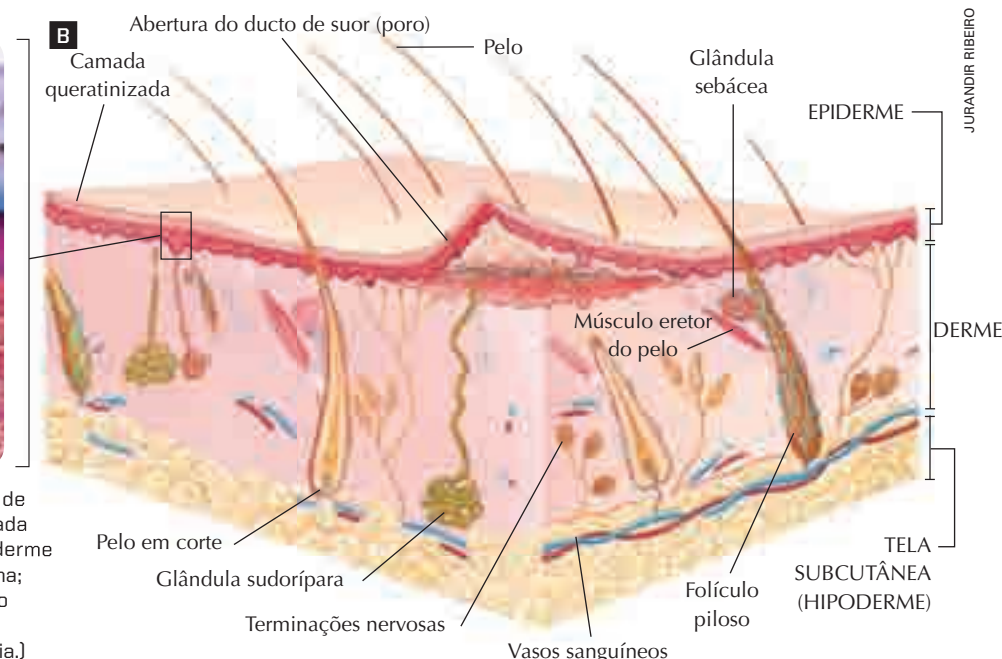
Tecidos epitelial e conjuntivo na pele humana

1 Características estruturais da pele

A **pele** é constituída por dois tecidos firmemente unidos entre si: o mais externo é a epiderme, um tecido epitelial, e o mais interno é a derme, um tecido conjuntivo. A pele é um órgão complexo, responsável por diversas funções fundamentais à vida. Além de proteger nosso corpo da ação de agentes físicos, químicos e biológicos, ela é responsável por nossa sensibilidade tátil e pela manutenção da temperatura corporal. (Fig. 11.8)



Figura 11.8 A. Micrografia de corte de pele humana altamente queratinizada mostrando a epiderme e parte da derme (coloração por hematoxilina e eosina; aumento $\approx 25\times$). **B.** Representação esquemática da pele humana. [Imagem sem escala, cores-fantasia.]



A epiderme

A **epiderme** (do grego *epi*, sobre, e *dermatos*, pele) é um tecido epitelial constituído por diversas camadas de células sobrepostas e bem aderidas umas às outras. A camada mais interna, denominada **camada basal**, ou camada germinativa, é formada por células que se dividem continuamente. As novas células geradas empurram as acima delas em direção à superfície corporal, de modo que, durante sua vida, as células epidérmicas deslocam-se da região mais profunda do tecido epitelial, onde se formaram, para a porção mais externa da pele. Durante esse trajeto elas passam por diversas transformações: achatam-se, ancoram-se às vizinhas, secretam substâncias impermeabilizantes nos espaços intercelulares, produzem queratina (uma proteína fibrosa e resistente) e finalmente morrem, transformando-se em placas com forma de escama. Estas formam a porção mais externa de nossa pele, conhecida como **camada córnea**, que é substituída aproximadamente a cada três semanas, à medida que as células mais externas descamam-se e são eliminadas. (Fig. 11.9)

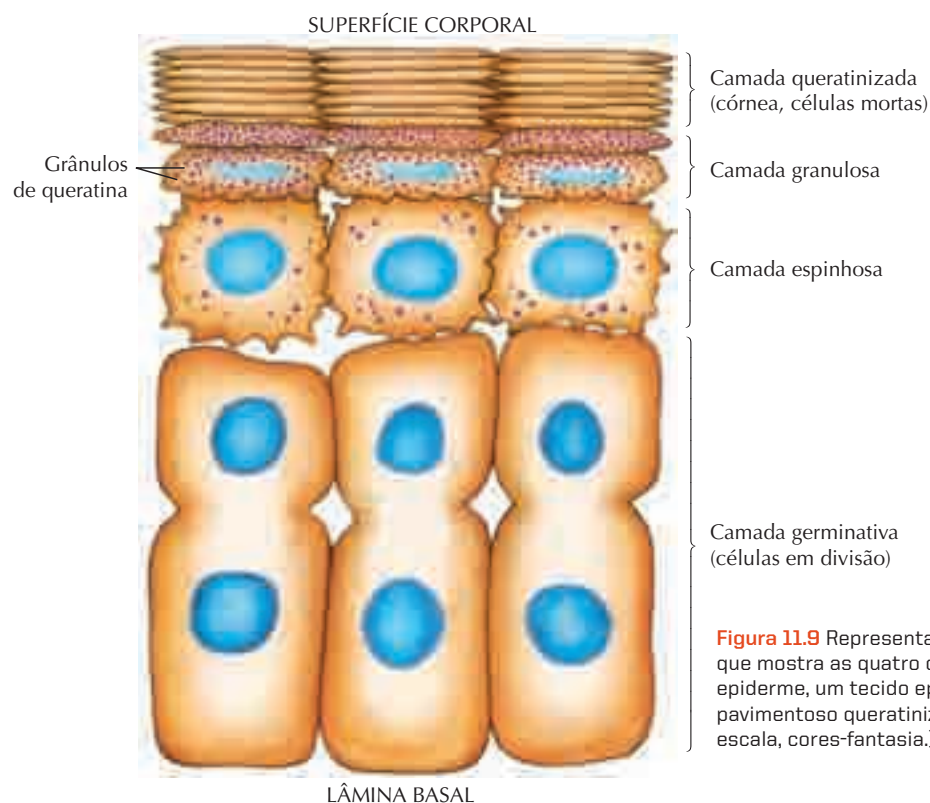
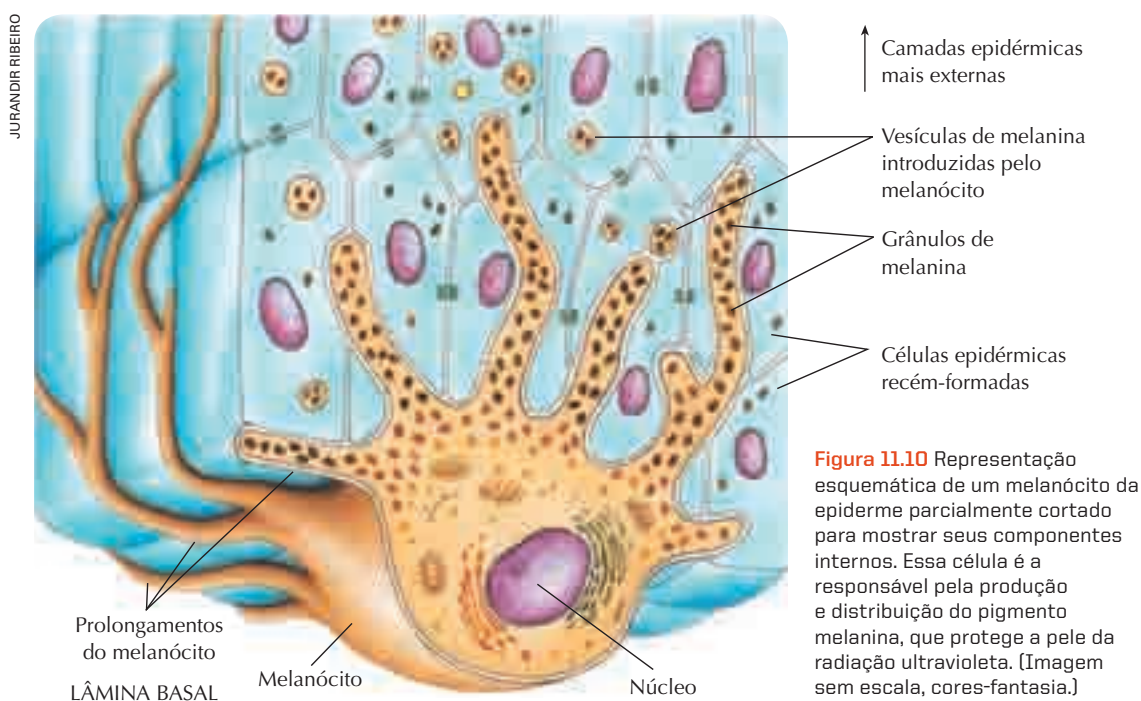


Figura 11.9 Representação esquemática que mostra as quatro camadas da epiderme, um tecido epitelial estratificado pavimentoso queratinizado. [Imagem sem escala, cores-fantasia.]

A epiderme apresenta também **melanócitos**, células situadas junto à camada basal e especializadas na produção de **melanina**, o pigmento escuro que dá cor à pele e aos pelos. A melanina é uma substância orgânica, sintetizada a partir do aminoácido tirosina, que desempenha duas importantes funções protetoras no organismo: absorve parte da energia contida na radiação ultravioleta da luz solar e neutraliza radicais livres, substâncias prejudiciais que se formam quando a pele é danificada pela radiação ultravioleta.

Os melanócitos têm prolongamentos que penetram no interior das células precursoras dos pelos e de outras células epidérmicas, introduzindo nelas vesículas repletas de grãos de melanina (melanosomos). A quantidade de melanócitos é mais ou menos a mesma em todas as pessoas, independentemente da cor de sua pele. O que diferencia uma pessoa de pele clara de outra de pele escura é a quantidade de melanina contida nos melanócitos e não o número dessas células. Além disso, a cor da pele é influenciada por outros fatores, como a quantidade de caroteno, pigmento alaranjado que se acumula sob a derme, e a quantidade de capilares sanguíneos presentes na derme. A exposição ao sol escurece a pele porque estimula a produção de melanina. (Fig. 11.10)



A derme da pele humana

A **derme** é constituída por tecido conjuntivo que garante suporte e nutrição às células da epiderme. A derme é rica em fibras proteicas, vasos sanguíneos, terminações nervosas, órgãos sensoriais e glândulas. As principais células dérmicas são os **fibroblastos**, responsáveis pela produção de fibras proteicas e da substância gelatinosa que preenche os espaços intercelulares, a substância fundamental. As fibras proteicas da derme podem ser de três tipos básicos: **fibras colágenas** (mais espessas e resistentes), **fibras elásticas** (mais finas e elásticas) e **fibras reticulares** (ainda mais finas e entrelaçadas). É o conjunto dessas fibras que confere a resistência e a elasticidade típicas da pele.

A primeira camada dérmica, localizada imediatamente abaixo da epiderme, é chamada **camada papilar**, pois apresenta inúmeras saliências – as papilas dérmicas – que se encaixam em reentrâncias da epiderme. Da camada papilar partem fibras finíssimas da proteína colágeno, que se ancoram fortemente à epiderme, garantindo sua perfeita união à derme. Sob a camada papilar situa-se uma camada mais espessa, a **camada reticular**, constituída por um tecido conjuntivo mais denso e rico em fibras elásticas, mas que possui relativamente menos células que a camada papilar. Na camada reticular há vasos sanguíneos, vasos linfáticos e terminações nervosas; aí também se situam as raízes dos pelos, as glândulas sebáceas e as glândulas sudoríparas.

Imediatamente abaixo da camada reticular da derme, há um tecido conjuntivo frouxo, a **tela subcutânea** (ou hipoderme), rica em fibras e em células que armazenam gordura (células adiposas). Além de constituir reserva de energia, a gordura armazenada nesse tecido atua como isolante térmico do corpo. Apesar de estar associada à pele, a tela subcutânea não faz parte dela.

A pele desempenha diversas funções, algumas delas surpreendentes. Você sabia, por exemplo, que as linhas salientes que compõem as impressões digitais de nossos dedos facilitam a caminhada e nos ajudam a pegar objetos com mais firmeza?

Dentre as funções da pele humana destacam-se as de proteção, regulação da temperatura corporal e percepção sensorial.

Proteção

A pele funciona como uma barreira protetora contra a ação de agentes físicos, químicos e biológicos sobre o organismo. A camada córnea, constituída pelas células queratinizadas da epiderme, protege o corpo do atrito e de arranhões. A melanina presente nas células epidérmicas protege o corpo contra a ação dos raios ultravioleta da luz solar. Certas células epidérmicas reconhecem e eliminam agentes estranhos que penetram na pele, protegendo o corpo de infecções.

As secreções das glândulas sebáceas e das glândulas sudoríparas contêm substâncias que matam diversos tipos de microrganismo. Além disso, o pH ácido (entre 3 e 5) dessas secreções evita a proliferação de microrganismos estranhos ao corpo; as bactérias que constituem a flora normal de nossa pele estão adaptadas a esse pH e ao ambiente relativamente seco de nossa superfície corporal.

Regulação da temperatura corporal

Quando a temperatura do corpo sobe, impulsos nervosos provocam a dilatação dos vasos sanguíneos dérmicos, fazendo com que maior quantidade de sangue passe a circular na pele. Com isso, aumenta a irradiação de calor para o meio e o corpo esfria. Em dias frios, os vasos sanguíneos da pele se contraem, fazendo com que menos sangue circule na superfície do corpo. Desse modo, reduz-se a perda de calor.

Função sensorial

A pele está repleta de terminações nervosas capazes de captar estímulos mecânicos, térmicos ou dolorosos. Essas terminações são genericamente chamadas de **receptores cutâneos**. Os folículos dos pelos, por exemplo, são envolvidos por fibras nervosas capazes de captar forças mecânicas aplicadas sobre o pelo; perto deles localizam-se também os chamados terminais de Ruffini, que são terminações nervosas ramificadas especializadas na percepção de calor.

Além desses receptores, presentes apenas nos locais em que há pelos, a pele apresenta outros tipos de receptores sensoriais, como: corpúsculos de Paccini, que captam estímulos tácteis e vibrações; discos de Merkel, que captam estímulos de pressão e tração; terminações nervosas livres, que captam estímulos mecânicos, térmicos e dolorosos; corpúsculos de Meissner, que captam estímulos tácteis; bulbos terminais de Krause, que percebem frio. (Fig. 11.11)

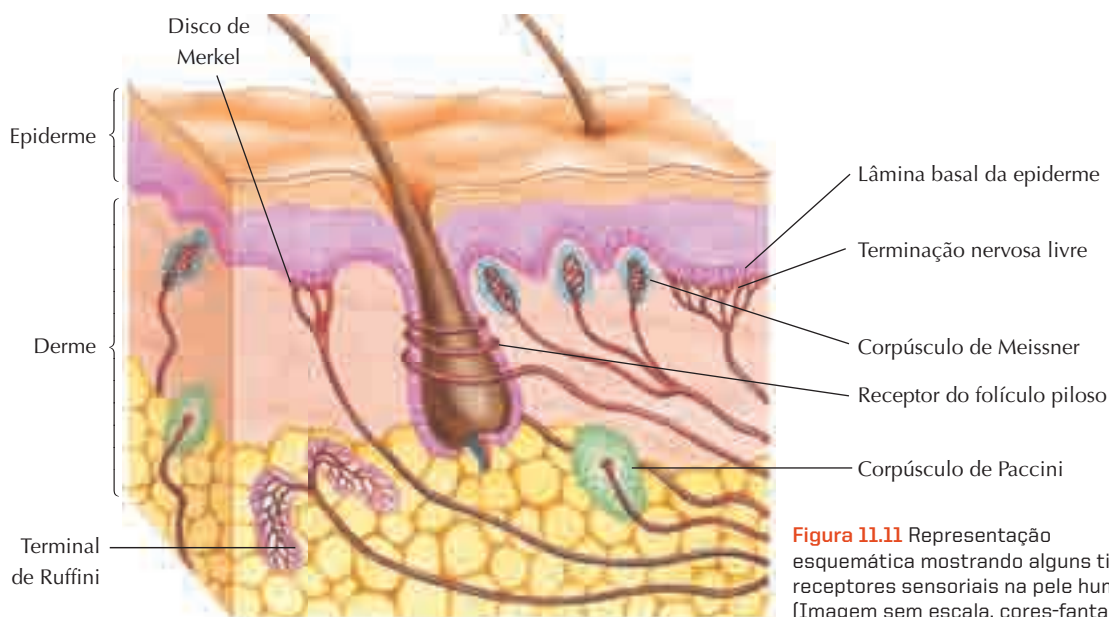


Figura 11.11 Representação esquemática mostrando alguns tipos de receptores sensoriais na pele humana. (Imagem sem escala, cores-fantasia.)

Pelos

Pelos são finos bastões de queratina produzidos pela compactação de restos de células epidérmicas mortas. O pelo forma-se no interior de uma reentrância epidérmica denominada **folículo piloso**. No fundo do folículo, ocorre a produção de células que sintetizam queratina, morrem e se compactam na base do pelo, levando ao seu crescimento. Cada folículo piloso está ligado a um pequeno **músculo eretor**, que permite a movimentação do pelo, e a uma ou mais glândulas sebáceas, que o lubrificam.

Unhas

Unhas são placas de queratina presentes nas pontas dos dedos. Nos pés dos primatas, as unhas dão mais equilíbrio ao caminhar e, nas mãos, auxiliam a apreensão e a manipulação de objetos. As unhas têm também papel na proteção e aumento da sensação tátil das pontas dos dedos. A unha cresce pela contínua compactação de restos de células mortas repletas de queratina, a partir de uma dobra da epiderme localizada em sua base, o chamado “leito” da unha, ou leito ungueal.

Glândulas sebáceas e glândulas sudoríparas

Glândulas sebáceas são pequenas bolsas constituídas por células epiteliais glandulares, localizadas junto aos folículos pilosos, nos quais lançam sua secreção oleosa. Sua função é lubrificar a pele e os pelos, evitando seu ressecamento. Em um centímetro quadrado de pele pode haver cerca de uma dezena de glândulas sebáceas associadas a um número igual de pelos. Nos lábios e nos órgãos genitais (glande do pênis e lábios menores da vagina), onde não existe folículo piloso, as glândulas sebáceas abrem-se diretamente na superfície da pele.

Glândulas sudoríparas são estruturas tubulares enoveladas localizadas na derme, que se abrem em poros na superfície da epiderme, onde eliminam o **suor**, um fluido que contém água, íons de sódio (Na^+), de potássio (K^+), de cloro (Cl^-), ureia, amônia e ácido úrico. Essas glândulas estão presentes em todo o corpo, exceto na glande do pênis e nos lábios, podendo haver, em certas regiões, cerca de 60 glândulas sudoríparas em apenas 1 cm^2 de pele. O suor ajuda a manter a temperatura corporal, pois, ao evaporar, absorve grande quantidade de calor da superfície do corpo, resfriando-o. (Fig. 11.12)

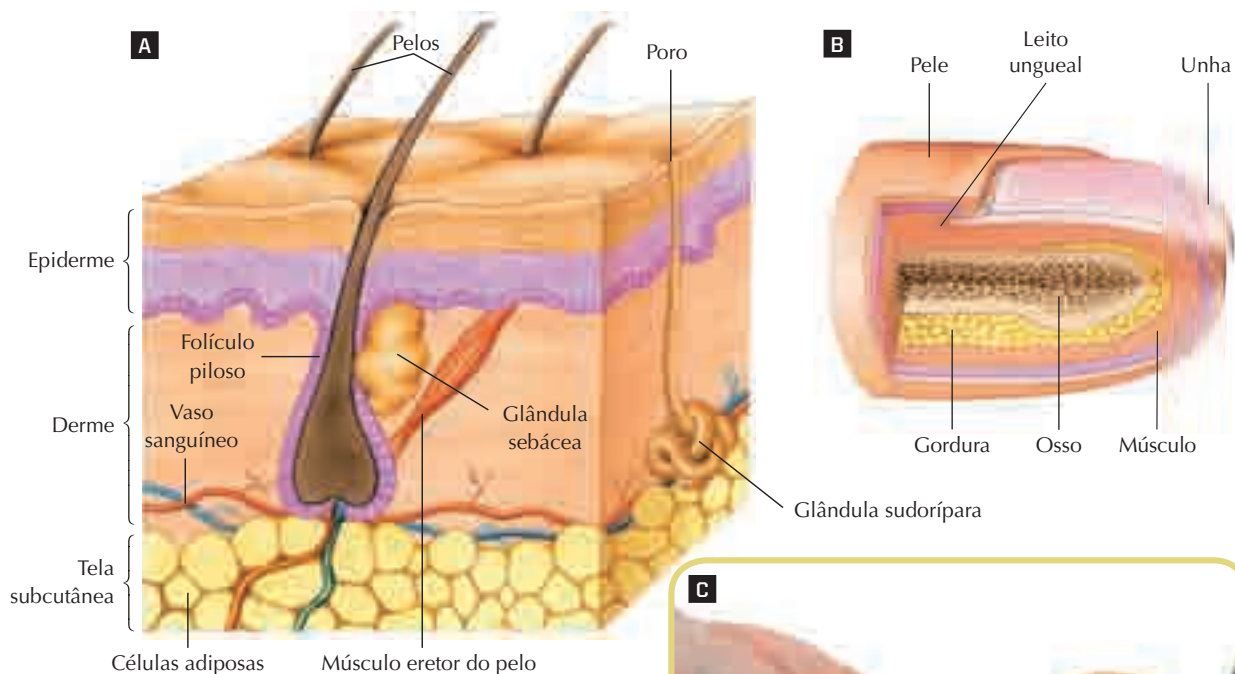


Figura 11.12 Representação esquemática de anexos da pele humana. **A.** Detalhe da pele com pelos, glândula sebácea e glândula sudorípara. **B.** Dedo humano em corte, mostrando a dobra da epiderme onde a unha se forma, chamada leito ungueal. **C.** Mão humana, dotada de unhas, e pata de um cachorro, com garras. (Em **A** e **B**, imagens sem escala, cores-fantasia.)

JURANDIR RIBEIRO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ARCO IMAGES/ALAMY/OTHER IMAGES

Pele bronzeada é sinal de saúde?

- 1 Há menos de 20 anos, ter a pele intensamente bronzeada era sinal de beleza. Para obter o bronzeado da moda, as pessoas passavam na pele as mais diversas fórmulas, algumas extremamente prejudiciais à saúde, como óleo de coco misturado a tintura de iodo.
- 2 Os avanços da ciência têm mostrado que a exposição excessiva ao sol aumenta drasticamente o risco de desenvolver câncer de pele. Para reduzir esse risco, dispomos hoje de uma boa quantidade de protetores contra a radiação solar, fabricados de acordo com as normas do Ministério da Saúde.

Cuidados com a pele

- 3 Além de manter a pele limpa e hidratada, devemos estar atentos quando nos expomos à luz solar e a bronzeamentos artificiais. A grande popularização do bronzeamento tem levado muitas pessoas a se expor excessivamente à radiação ultravioleta, o que pode gerar queimaduras e câncer de pele.
- 4 Tomar sol é benéfico à saúde, desde que se evite a exposição direta e continuada no período entre as 10 e 16 horas, quando é maior a incidência de radiação ultravioleta do tipo A (veja a seguir), que pode causar danos à pele. Quando a pele é exposta à luz solar, o organismo produz vitamina D, importante para a absorção do cálcio. A vitamina D é também encontrada no óleo de peixe, nos ovos e no leite. Sua falta no organismo pode ocasionar o raquitismo, uma doença que provoca calcificação insuficiente e a deformação dos ossos das crianças.
- 5 Além de luz e de radiação infravermelha (invisível e quente), a radiação solar contém **radiação ultravioleta** (uv), invisível aos olhos e dotada de grande poder de penetração nos tecidos vivos. Há dois tipos de raios ultravioleta: uvA e uvB. Os **raios uvA**, apesar de não causarem queimaduras, penetram nas camadas mais profundas da derme e danificam as fibras colágenas e as elásticas, levando ao envelhecimento precoce da pele. Os **raios uvB** estimulam a síntese de vitamina D e de melanina, mas, em quantidade excessiva, causam vermelhidão da pele (o chamado eritema) e queimaduras. Sempre que tomar sol, passe na pele um protetor solar que bloqueie tanto os raios uvA como os uvB. Nunca utilize óleos ou produtos caseiros, que, além de não protegerem sua pele, podem causar irritações cutâneas. (Fig. 11.13)

Figura 11.13

O bronzeamento da pele é uma reação à radiação ultravioleta, em que os melanócitos são estimulados a produzir maior quantidade de melanina.



6 Outro cuidado com a pele é estar atento à formação de sardas e pintas, principalmente nas áreas expostas ao sol. Sabe-se que certas formas de câncer (melanomas) podem ter origem em pintas ou manchas da pele. O câncer de pele é o mais comum entre todos os tipos de câncer. Pessoas que já tiveram melanoma ou têm

parentes próximos com a doença devem consultar periodicamente um médico dermatologista. Pessoas de pele clara devem tomar mais cuidado com a exposição ao sol. O risco de desenvolver melanoma é maior nas pessoas que tiveram queimaduras solares, principalmente durante a infância.

GUIA DE LEITURA

1. Leia o primeiro parágrafo do quadro. É possível que seus pais ou parentes de mais idade lembrem-se da época em que os cuidados com a saúde da pele eram negligenciados. Converse com eles a respeito.
2. Leia o segundo parágrafo e responda: qual o risco de se expor excessivamente ao sol?
3. No parágrafo de número 3, é mencionada a prática de bronzeamento artificial, em que as pessoas se submetem à radiação ultravioleta produzida por lâmpadas especiais. Recentemente tem se discutido sobre os possíveis perigos das clínicas de bronzeamento artificial. Informe-se a respeito e escreva um texto manifestando sua opinião.
4. Leia o quarto parágrafo do quadro, que comenta os efeitos benéficos para a saúde da correta exposição ao sol. Responda:
 - a) que períodos do dia são mais propícios ao bronzeamento correto da pele?
 - b) quais os benefícios à saúde da correta exposição à radiação solar?
5. Pela leitura do quinto parágrafo, você aprenderá a respeito da influência sobre a pele dos dois tipos de radiação presentes na luz solar. Faça uma pequena tabela que apresente resumidamente as características e efeitos de cada tipo de radiação.
6. Ainda com relação ao quinto parágrafo, nele é citada a **Figura 11.13**. Lembre-se sempre de parar a leitura do texto ao encontrar uma citação como essa, detendo-se na observação atenta da figura, complementando-a pela leitura da legenda. Muitas vezes, esta traz informações complementares ao texto, além de explicar a imagem. É o caso da **Figura 11.13**, em que há uma importante informação sobre o assunto que não foi tratada no texto do quadro. Qual é ela? Retorne ao texto do capítulo e aprofunde esse conteúdo.
7. No sexto e último parágrafo do quadro, comente-se sobre uma doença fortemente influenciada pela exposição ao sol. Qual é ela e como se prevenir?

Seção 11.4

Tecidos conjuntivos especiais

Habilidade sugerida

► Distinguir tecido cartilaginoso de tecido ósseo, apontando semelhanças e diferenças entre eles.

Conceitos principais

- **tecido cartilaginoso**
 - **condroblasto**
 - **condrócito**
 - **osteoblasto**
 - **osteócito**
 - **osteoclasto**

1

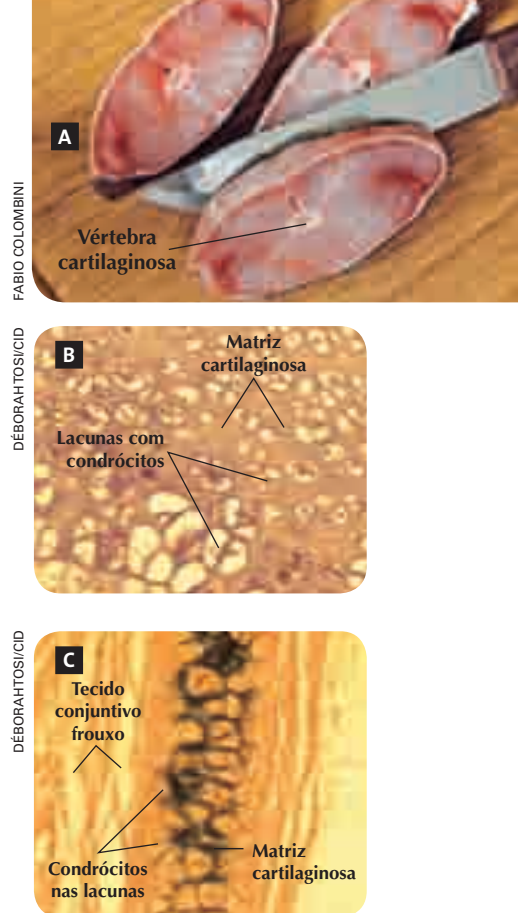
Tecido cartilaginoso

O **tecido cartilaginoso** forma o esqueleto de alguns animais vertebrados, como os cações, tubarões e raias, que por esse motivo são denominados peixes cartilaginosos. Os outros vertebrados, inclusive a espécie humana, têm esqueleto cartilaginoso apenas durante o estágio embrionário: à medida que o embrião amadurece, as cartilagens são substituídas por ossos. Algumas cartilagens, entretanto, permanecem no corpo por toda a vida. Na espécie humana, por exemplo, há cartilagens que sustentam o nariz, as orelhas, a traqueia e os brônquios. Há também tecido cartilaginoso revestindo as extremidades de certos ossos, o que permite o deslizamento suave de um osso sobre outro em articulações móveis. Além disso, há tecido cartilaginoso entre as vértebras, formando discos que absorvem o impacto dos movimentos sobre a coluna vertebral.

O tecido cartilaginoso deve sua rigidez e consistência à matriz intercelular produzida e secretada por células denominadas **condroblastos** (do grego *chondros*, cartilagem, e *blastos*, aqui no sentido de célula jovem). Após a formação da cartilagem, a atividade dos condroblastos diminui e eles sofrem uma pequena retração de volume, passando a ser chamados de **condrócitos**. Cada condrócito fica confinado ao interior de uma lacuna ligeiramente maior que ele, moldada durante a deposição da matriz intercelular. (Fig. 11.14)

O tecido cartilaginoso é o único tipo de tecido conjuntivo que não contém vasos sanguíneos em seu interior, sendo avascular. Os nutrientes e o gás oxigênio para condroblastos e condrócitos difundem-se na matriz cartilaginosa a partir dos vasos sanguíneos localizados no tecido conjuntivo que envolve a cartilagem, o chamado **pericôndrio** (do grego *peri*, ao redor). No pericôndrio existem, também, células mesenquimatosas que podem se transformar em condrócitos, permitindo o crescimento e a regeneração do tecido cartilaginoso.

Figura 11.14 **A.** Postas de cação, em que se veem as vértebras formadas por cartilagem. **B.** Micrografia ao microscópio óptico de um corte da cartilagem presente no joelho de rato. Note as lacunas na matriz cartilaginosa, onde se localizam os condrócitos (aumento $\approx 35\times$). **C.** Micrografia, ao microscópio óptico, de um corte da cartilagem presente em orelha de rato (aumento $\approx 25\times$). Na parte central, pode-se ver uma lâmina cartilaginosa, cercada pelo tecido conjuntivo frouxo que compõe a pele da orelha.



2 Tecido ósseo

O **tecido ósseo** constitui os ossos. A principal característica desse tecido é ter as células envolvidas em uma matriz intercelular rígida, rica em fibras colágenas e fosfato de cálcio $[Ca_3(PO_4)_2]$, além de íons minerais como o magnésio (Mg^{2+}), o potássio (K^+) e o sódio (Na^+). Os cristais de fosfato de cálcio associados às fibras proteicas são os responsáveis pela rigidez dos ossos.

Muitos ossos apresentam unidades microscópicas denominadas **osteônios**, ou sistemas haversianos, formados por camadas concêntricas de matriz óssea mineralizada, depositadas ao redor de um canal central (antigamente denominado canal de Havers) dotado de vasos sanguíneos e nervos. (Fig. 11.15)

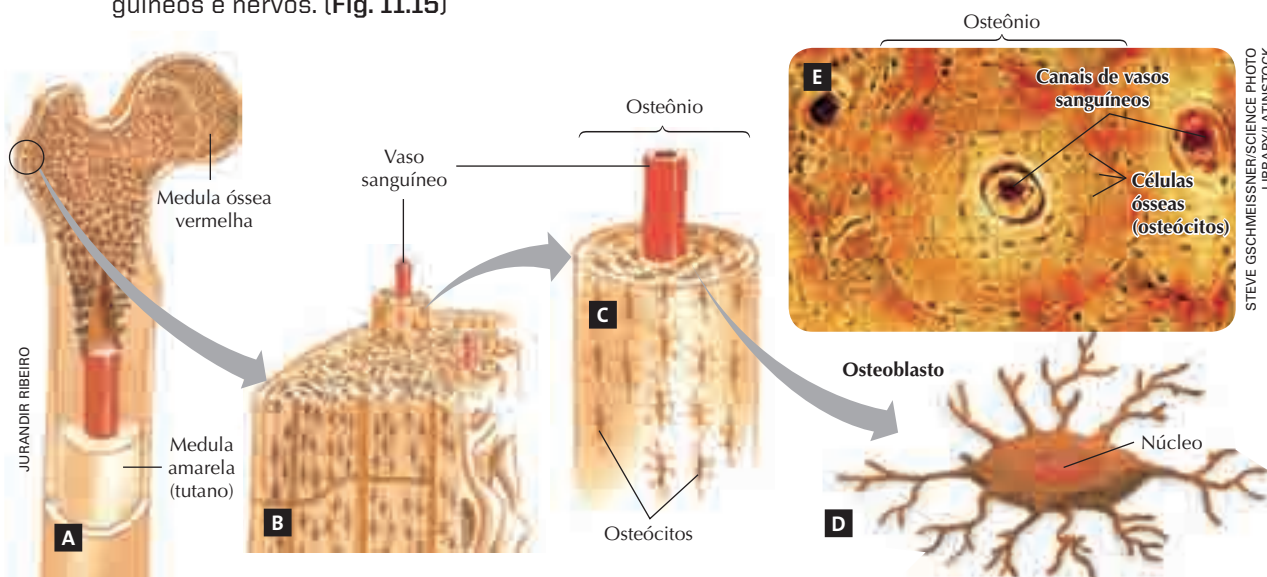


Figura 11.15 De **A** a **D**, representações esquemáticas de ampliações progressivas de cortes de osso, mostrando a estrutura do tecido ósseo e uma célula óssea jovem, o osteoblasto. (Imagens sem escala, cores-fantasia.) Em **E**, micrografia de um corte transversal de osso, mostrando osteônios e osteócitos, ao microscópio óptico (aumento $\approx 285\times$).



As células que produzem a matriz óssea são chamadas **osteoblastos** (do grego *osteon*, osso, e *blastos*, no sentido de célula jovem). Elas apresentam longas projeções citoplasmáticas que tocam osteoblastos vizinhos. Ao secretar a matriz intercelular ao seu redor, os osteoblastos ficam confinados às pequenas câmaras que eles mesmos produziram, das quais partem canais que contêm as projeções citoplasmáticas. Quando a célula óssea amadurece, sendo então denominada **osteócito**, seus prolongamentos citoplasmáticos se retraem e ela passa a ocupar apenas a lacuna central. Os canalículos onde ficavam os prolongamentos do osteoblasto permitem a comunicação entre uma lacuna e outra; através desses canalículos chegam nutrientes e gás oxigênio provenientes do sangue às células ósseas.

Além dos osteoblastos e dos osteócitos, o tecido ósseo possui outras células importantes, os **osteoclastos** (do grego *klastos*, quebrar, destruir), originados pela fusão de células sanguíneas denominadas monócitos. Osteoclastos são células gigantes e multinucleadas (podem ter de 6 a 50 núcleos), que se movem nas superfícies ósseas e destroem áreas lesadas ou envelhecidas do osso, abrindo caminho para sua regeneração pelos osteoblastos. Os ossos estão em contínua remodelação devido à atividade conjunta de destruição e reconstrução empreendidas, respectivamente, por osteoclastos e osteoblastos.

Os ossos são envolvidos por um tecido conjuntivo, o **periósteo**, no qual estão presentes células mesenquimatosas capazes de gerar novos osteoblastos. São essas células mesenquimatosas do periósteo que permitem a contínua reconstrução óssea e a reparação das fraturas.

No interior de certos ossos há cavidades em que se aloja a chamada **medula óssea vermelha**, responsável pela produção de diversos tipos de células do sangue. Alguns ossos também apresentam uma cavidade central em que se localiza a **medula óssea amarela**, popularmente chamada de tutano, rica em células adiposas.

Além da sustentação corporal, uma função importante dos ossos é servir de reservatório de cálcio para o organismo; cerca de 99% do cálcio corpóreo concentra-se no esqueleto. O intercâmbio de cálcio entre os ossos e o sangue é controlado pela ação dos hormônios da glândula tireóideia (calcitonina) e das glândulas paratireóideas (paratormônio).

Uma doença que afeta os ossos é a osteoporose, que pode ser decorrente de diversos fatores. Um deles é a produção excessiva de paratormônio, secretado pelas glândulas paratireóideas, que estimula o aumento do número de osteoclastos e, portanto, a degeneração da matriz óssea, com conseqüente fraqueza dos ossos. A osteoporose também pode ser causada pela deficiência de vitamina A, importante na regulação do equilíbrio entre as atividades de osteoblastos e osteoclastos. Na falta de vitamina A, os osteoclastos suplantam a ação dos osteoblastos e o osso enfraquece.

Sabe-se que um dos estímulos para ativar a regeneração óssea, ou osteogênese, é o exercício físico; a tração que os tendões dos músculos aplicam sobre os ossos estimula a osteogênese e pode ajudar a prevenir e a combater os efeitos da osteoporose, que afeta principalmente pessoas de mais idade. Carência de vitamina C também pode levar à má formação óssea, pois prejudica a formação de colágeno, como já mencionamos anteriormente.

A deficiência de cálcio na alimentação durante a infância, assim como a falta de vitamina D, podem levar ao raquitismo, que atrasa o crescimento e causa deformações ósseas. Nos adultos, a deficiência de cálcio ou de vitamina D pode levar à doença conhecida por osteomalacia, que se caracteriza pela fragilidade dos ossos e maior suscetibilidade a fraturas.

3

Tecido hematopoiético

O **tecido hematopoiético**, ou hemocitopoético (do grego *hematos*, sangue, *citos*, célula, e *poiese*, origem, formação), é o responsável pela formação dos diversos tipos de células sanguíneas, também chamadas de elementos figurados do sangue. Esse tecido está presente na medula óssea vermelha e em certos órgãos corporais como o timo, o baço e os linfonodos. O tecido hematopoiético será estudado mais detalhadamente no capítulo seguinte, relativo ao tecido sanguíneo.

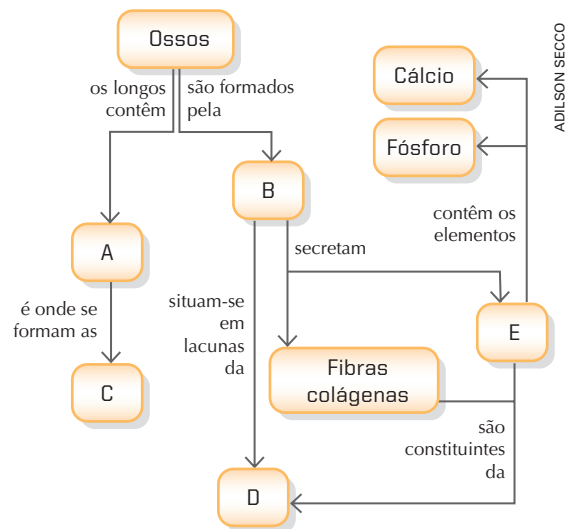
QUESTÕES PARA PENSAR E DISCUTIR

Questões objetivas

- Qual das seguintes afirmações é verdadeira?
 - Glândulas são conjuntos de células musculares especializadas na secreção de substâncias úteis.
 - Glândulas exócrinas produzem hormônios e os secretam diretamente no sangue.
 - Glândulas endócrinas são aquelas que lançam suas secreções nas cavidades internas do corpo.
 - Glândulas exócrinas têm ductos para eliminar sua secreção; glândulas endócrinas não têm ductos.
- Os dois tecidos que formam a pele humana são:
 - cartilagem e musculatura lisa.
 - derme e cartilagem.
 - epiderme e derme.
 - epiderme e musculatura lisa.
- Pelos e unhas são formados
 - ambos por melanina.
 - ambos por queratina.
 - por queratina e por melanina, respectivamente.
 - por melanina e por queratina, respectivamente.
- O suor é secretado pelas glândulas
 - adrenais.
 - endócrinas.
 - sebáceas.
 - sudoríparas.
- Fatores que contribuem para diminuição da temperatura corporal são a
 - constrição dos vasos sanguíneos da derme e maior eliminação de suor.
 - constrição dos vasos sanguíneos da derme e menor eliminação de suor.
 - dilatação dos vasos sanguíneos da derme e maior eliminação de suor.
 - dilatação dos vasos sanguíneos da derme e menor eliminação de suor.
- Que célula tem por função desfazer o trabalho do osteoblasto?
 - O adipócito.
 - A célula mesenquimatosa.
 - O osteoclasto.
 - O osteócito.
- Qual dos tecidos a seguir não é vascularizado?
 - Cartilagenoso.
 - Conjuntivo frouxo.
 - Conjuntivo denso fibroso.
 - Ósseo.

Questões discursivas

- A pele é uma estrutura de crescimento dinâmico, que se renova continuamente. Explique onde e como uma célula epidérmica nasce e qual é o seu destino final.
- Escreva um texto que explique quais os cuidados que uma pessoa de pele clara e com muitas pintas deve ter ao se expor ao sol.
- Refaça, em seu caderno, o mapa de conceitos a seguir, substituindo cada uma das letras por um dos seguintes conceitos: células ósseas; células sanguíneas; matriz extracelular; medula óssea; sais minerais.



- Suponha que, em uma reunião de família, alguém manifeste a preocupação de estar com osteoporose. Que comentários e sugestões você faria sobre a prevenção dessa e de outras doenças que acarretam fragilidade dos ossos?

VESTIBULARES PELO BRASIL

Questões objetivas

- (Uece) Dentre as principais funções do tecido epitelial, podemos destacar, corretamente, a função de
 - tração.
 - transporte.
 - preenchimento.
 - secreção.
- (Efoa-MG) Nos vertebrados terrestres, aparece, na superfície da epiderme, uma camada córnea formada por uma proteína impermeabilizante chamada
 - muco.
 - cromatóforos.
 - queratina.
 - melanina.
 - clorofila.

3. (USJ-SC) O tecido que desempenha as funções de revestimento de superfícies e cavidades, absorção, secreção e percepção sensorial é denominado
 - a) muscular.
 - b) nervoso.
 - c) epitelial.
 - d) conjuntivo.
4. (Uece-Adaptado) Na espécie humana, o tipo de tecido conjuntivo que forma o tendão calcâneo é
 - a) cartilaginoso.
 - b) denso modelado.
 - c) adiposo.
 - d) ósseo.
5. (UFC-CE) Uma pessoa normal e sadia, ao sofrer um ferimento na superfície da pele, apresenta pequeno sangramento, que cessa ao final de algum tempo, formando-se, posteriormente, uma cicatriz. O principal conjunto de células, dentre os citados abaixo, envolvido diretamente no fenômeno da cicatrização é constituído pelos
 - a) eritrócitos.
 - b) macrófagos.
 - c) fibroblastos.
 - d) osteoclastos.
 - e) condroblastos.
6. (UFC-CE) “Durante a infância e adolescência, a formação óssea se processa a uma velocidade maior que a reabsorção, resultando em um aumento da densidade até que os jovens adultos alcancem, por volta dos 18 anos, o pico da massa óssea.”

Scientific American Brasil, abr. 2003, p. 84.

De acordo com o texto, as atividades de formação e reabsorção, responsáveis pelo aumento da densidade óssea, decorrem da ação de dois tipos celulares que são, respectivamente:

 - a) osteoblastos e osteoclastos.
 - b) condroblastos e condrócitos.
 - c) condrócitos e condroblastos.
 - d) osteoclastos e osteoblastos.
 - e) condroblastos e osteoblastos.
7. (UEMS) Tecido de ampla distribuição subcutânea, exercendo funções de reservas de energia, proteção contra choques mecânicos e isolamento térmico.
 - a) Epitelial.
 - b) Conjuntivo cartilaginoso.
 - c) Adiposo.
 - d) Conjuntivo ósseo.
 - e) Muscular.
8. (Acafe-SC) “Pesquisadores da Universidade de Brasília (UnB) estão otimistas com a possibilidade de poderem usar uma **secreção da pele** de pererecas no desenvolvimento de drogas no futuro.” Sobre as palavras destacadas no texto, é correto afirmar:
 - a) A pele é um tecido de revestimento com função protetora e glandular.
 - b) As células secretoras originam-se do tecido conjuntivo, constituindo as glândulas.
 - c) As glândulas endócrinas, como é o caso daquelas encontradas na pele da perereca, são providas de canal secretor.
 - d) A secreção expelida através da pele do animal pesquisado é produzida em glândulas classificadas como exócrinas.

e) As glândulas secretoras da pele do anfíbio originam-se do folheto embrionário denominado mesoderme.

9. (UFMG) Determine a que tecido se referem as características:
 - I. células localizadas em lacunas;
 - II. matriz percorrida por canalículos e constituída de substâncias orgânicas e minerais;
 - III. canais que contêm vasos sanguíneos e nervos.
 - a) Cartilaginoso.
 - b) Conjuntivo propriamente dito.
 - c) Muscular liso.
 - d) Nervoso.
 - e) Ósseo.
10. (PUC-Minas) No processo de ossificação, o papel dos osteoclastos é
 - a) promover a deposição de cálcio nas epífises.
 - b) reabsorver a matriz óssea.
 - c) revestir o periosteio.
 - d) reforçar as suturas cranianas.
 - e) formar, por mitoses, os osteócitos.
11. (UFSC) No tecido conjuntivo, cada um dos elementos realiza funções específicas. Assim, as fibras colágenas orientadas paralelamente e a substância fundamental intensamente mineralizada se caracterizam, respectivamente, pelas funções de
 - a) dureza e armazenamento.
 - b) tração e resistência.
 - c) defesa e preenchimento.
 - d) elasticidade e reserva.
 - e) flexibilidade e tenacidade.
12. (Cesmac/Fejal-AL) Com relação aos tendões e aos ligamentos, analise as características enumeradas a seguir.
 1. Os tendões ligam as extremidades dos músculos aos ossos.
 2. Os tendões proporcionam movimentos esqueléticos.
 3. Os ligamentos unem os ossos, “amarrando-os” na região das articulações.
 4. Tanto os tendões quanto os ligamentos são exemplos de tecido conjuntivo denso modelado.

Está(ão) correta(s)

 - a) 1, 2, 3 e 4.
 - b) 3 e 4 apenas.
 - c) 1 e 3 apenas.
 - d) 2 apenas.

Questões discursivas

13. (UFC-CE) Explique, sucintamente, como a sudorese e a vasodilatação dos vasos sanguíneos cutâneos participam do processo homeostático de regulação da temperatura corporal do ser humano no calor.
14. (Vunesp) O que são glândulas endócrinas e glândulas exócrinas? Dê um exemplo de cada tipo.
15. (Fuvest-SP) “O pâncreas desempenha funções endócrinas e exócrinas.” Explique o significado dessa afirmação.



Capítulo 12

Tecido sanguíneo

O sangue é um fluido vital que circula pelo corpo, distribuindo nutrientes, gás oxigênio e hormônios para as células e recolhendo gás carbônico e excretas produzidos no metabolismo celular.

Neste capítulo estudaremos como se formam os componentes do sangue humano e quais são suas principais funções.

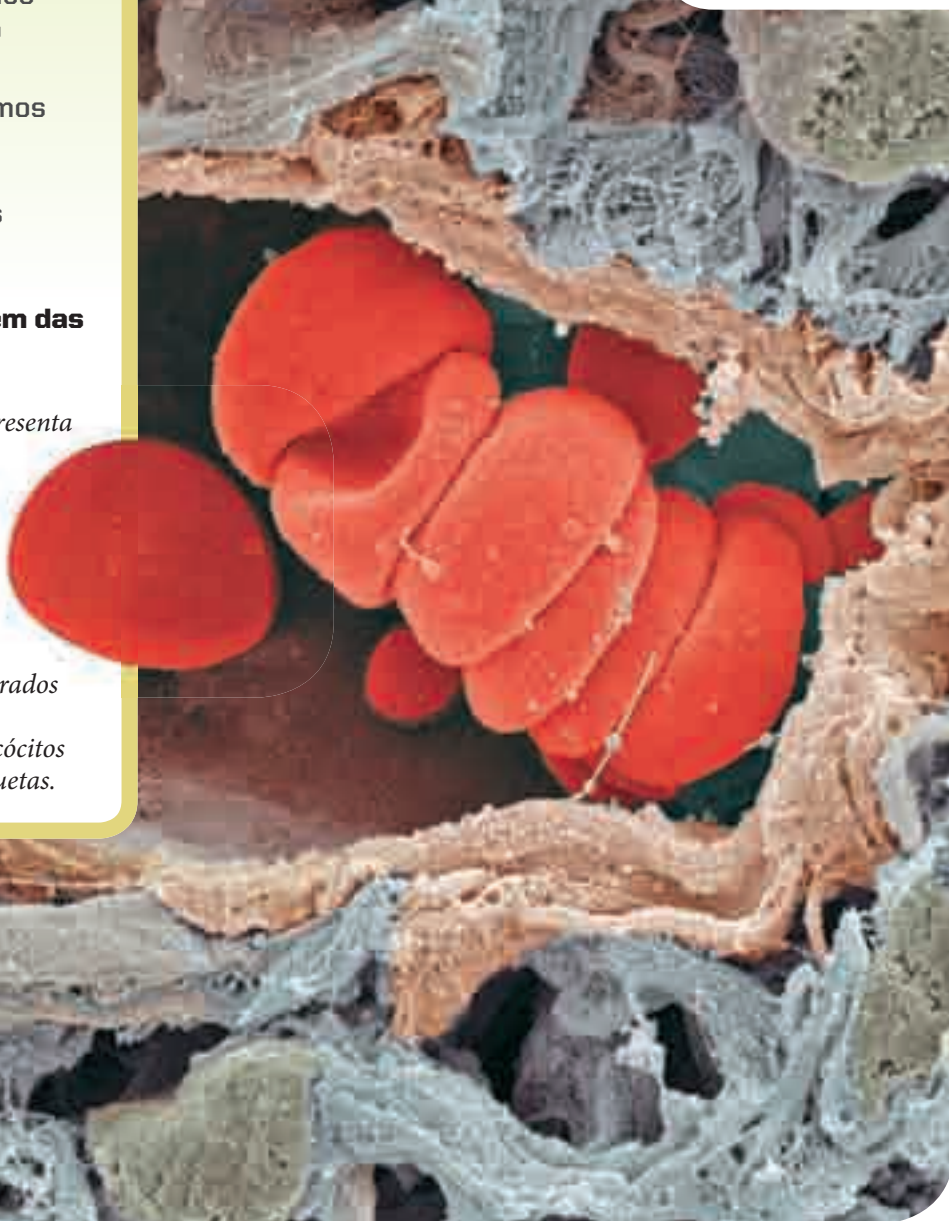
› 12.1 O sangue e a origem das células sanguíneas

O sangue é considerado um tecido conjuntivo porque apresenta células separadas umas das outras por uma matriz extracelular líquida, o plasma sanguíneo.

› 12.2 Componentes do sangue humano

Os principais elementos figurados do sangue são as hemácias (glóbulos vermelhos), os leucócitos (glóbulos brancos) e as plaquetas.

Micrografia ao microscópio eletrônico de varredura que mostra uma pequena arteríola humana cortada, com hemácias empilhadas em seu interior (colorizada artificialmente; aumento $\approx 30.000\times$).



O sangue e a origem das células sanguíneas

Habilidades sugeridas

► Valorizar os conhecimentos sobre a estrutura e o funcionamento do corpo humano, reconhecendo-os como importantes para cuidar melhor da própria saúde.

► Enumerar os componentes celulares do sangue humano (hemácias, glóbulos brancos e plaquetas) e identificar os órgãos corporais responsáveis por sua formação (medula óssea, timo etc.)

Conceitos principais

- sangue
- plasma sanguíneo
- tecido hematopoiético
- medula óssea vermelha
- timo

1 Características do sangue

O **sangue** é considerado um tipo de tecido conjuntivo por apresentar células separadas por grande quantidade de matriz extracelular, o **plasma sanguíneo**, um líquido amarelado, constituído de água, sais minerais e diversas proteínas. O plasma perfaz cerca de 55% do volume sanguíneo; o restante (45%) é ocupado pelos chamados elementos figurados do sangue, que são as células sanguíneas (hemácias e glóbulos brancos) e fragmentos celulares conhecidos como plaquetas.

No corpo de uma pessoa com cerca de 70 kg, há pouco mais de 5,5 L de sangue, que contém, aproximadamente, 45 bilhões de glóbulos brancos (leucócitos), 1,5 trilhão de plaquetas e 30 trilhões de glóbulos vermelhos (hemácias ou eritrócitos). (Fig. 12.1)

O sangue exerce importantes funções nos animais vertebrados: transporta gás oxigênio (O_2) e nutrientes para todas as células do corpo, delas recolhendo gás carbônico (CO_2) e excreções. Transporta também hormônios produzidos pelas glândulas endócrinas até os locais em que eles devem atuar. Outra importante função do sangue é proteger o organismo: certos tipos de glóbulos brancos agem como os soldados de um exército de defesa no combate a agentes estranhos que eventualmente penetrem no corpo. (Tab. 12.1)

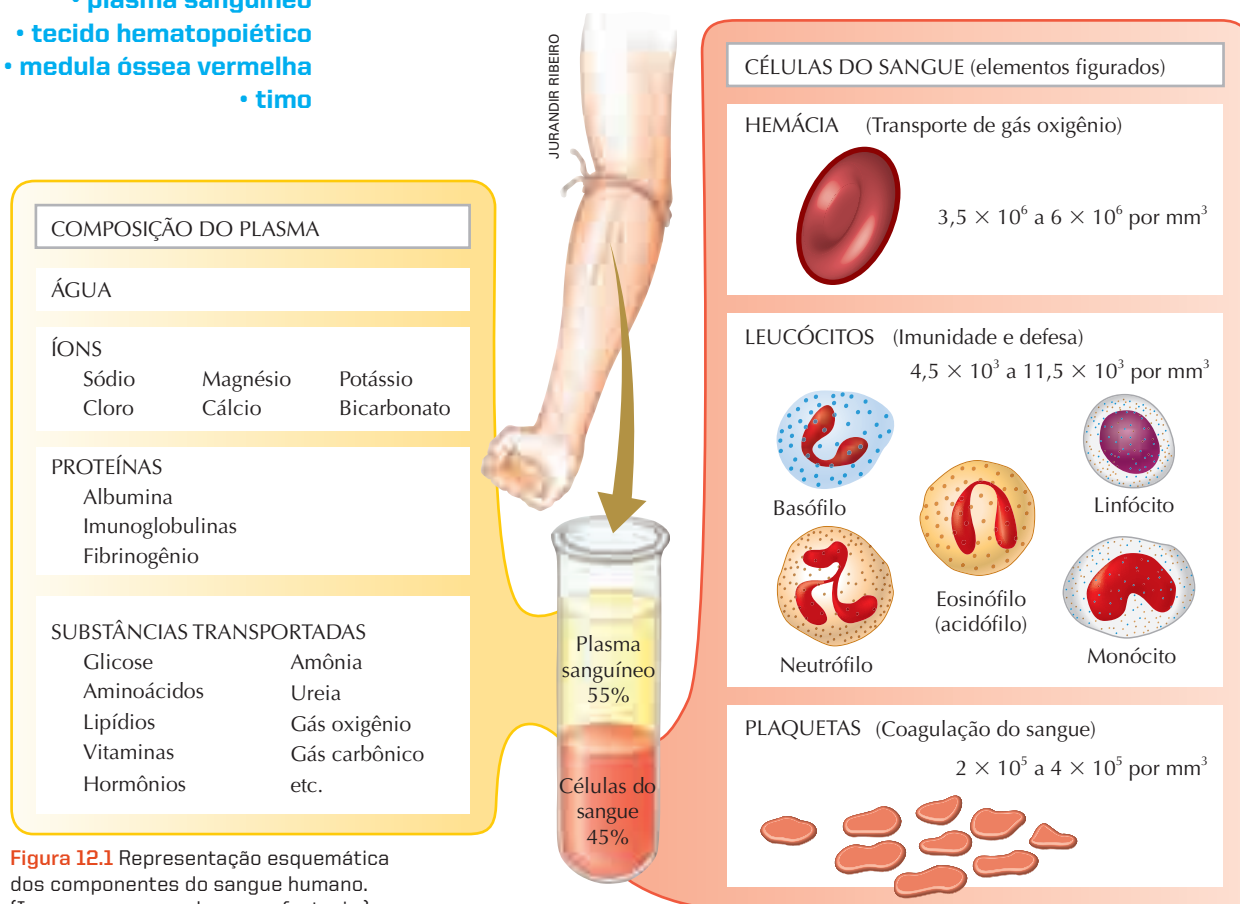


Figura 12.1 Representação esquemática dos componentes do sangue humano. [Imagens sem escala, cores-fantasia.]

Tabela 12.1 Principais tipos de células do sangue			
Nome			Características
Hemácias ou eritrócitos (células vermelhas)			Forma discoidal, sem núcleo, repletas de hemoglobina; transportam gás oxigênio para os tecidos.
Leucócitos (células brancas)	Granulócitos	Neutrófilos	Forma esférica, núcleo trilobado; fagocitam bactérias e corpos estranhos.
		Eosinófilos	Forma esférica; núcleo bilobado; participam das reações alérgicas, produzindo histamina.
		Basófilos	Forma esférica, núcleo irregular. Acredita-se que também participam de processos alérgicos; produzem histamina e heparina (anticoagulante).
	Agranulócitos	Linfócitos (B e T)	Forma esférica, núcleo também esférico; participam dos processos de defesa imunitária, produzindo e regulando a produção de anticorpos.
		Monócitos	Forma esférica, núcleo oval ou riniforme; originam macrófagos e osteoclastos, células especializadas na fagocitose.
Plaquetas (trombócitos)			Forma irregular, sem núcleo; participam dos processos de coagulação do sangue.

2 Tecidos hematopoiéticos ou hemocitopoéticos

As células do sangue são produzidas ininterruptamente em nosso corpo. O tecido encarregado dessa produção é o **tecido hematopoiético**, ou **hemocitopoético** (do grego *hematos*, sangue, e *poiese*, aqui usado no sentido de formação, origem), localizado no interior de certos ossos, constituindo a medula óssea vermelha. Nas crianças, a maioria dos ossos possui esse tipo de medula; nos adultos ela continua presente, em geral, apenas nos ossos pélvicos, no osso esterno, nas costelas, na clavícula, na escápula, nos ossos cranianos e nas extremidades do fêmur e do úmero. Os principais locais de formação de células sanguíneas nos embriões são o fígado e o baço. (Fig. 12.2)

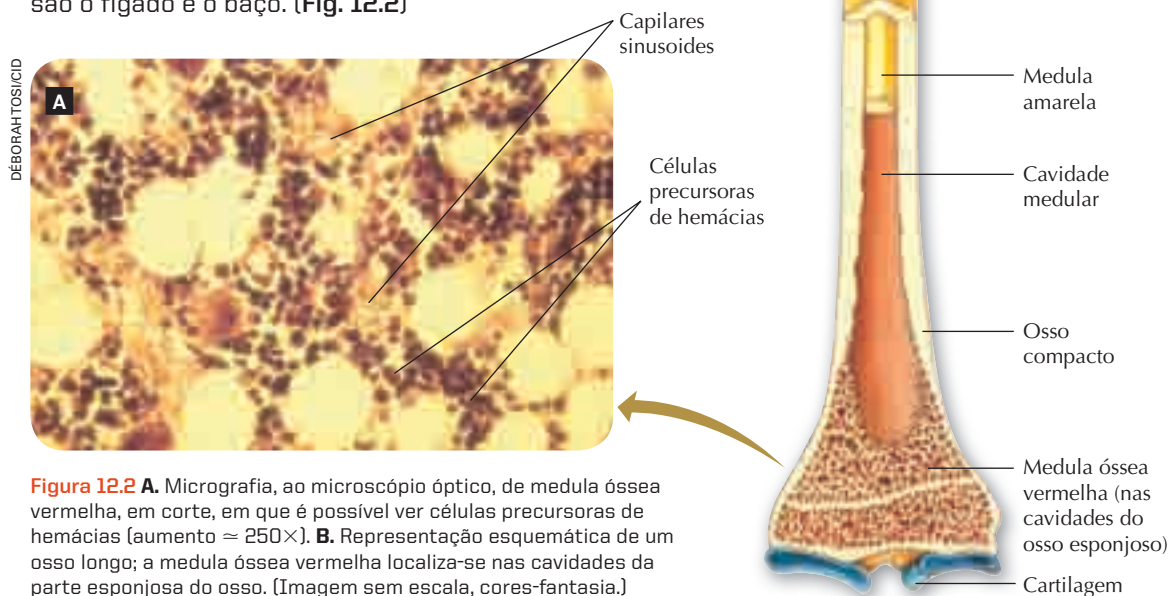


Figura 12.2 A. Micrografia, ao microscópio óptico, de medula óssea vermelha, em corte, em que é possível ver células precursoras de hemácias (aumento $\approx 250\times$). B. Representação esquemática de um osso longo; a medula óssea vermelha localiza-se nas cavidades da parte esponjosa do osso. (Imagem sem escala, cores-fantasia.)

A **medula óssea vermelha** consiste em uma rede de tecido conjuntivo frouxo, que contém conjuntos de células-tronco hematopoiéticas e uma vasta rede de sinusoides sanguíneos. Os sinusoides são capilares expandidos, com forma irregular e descontinuidades nas paredes, o que permite contato íntimo entre o sangue que circula em seu interior e os tecidos adjacentes. As células-tronco hematopoiéticas são **multipotentes** (ou **pluripotentes**), isto é, são capazes de originar os diversos tipos de células sanguíneas. Elas descendem diretamente das células-tronco embrionárias, que são células **totipotentes**, ou seja, são capazes de originar qualquer tipo de célula do corpo.

Apesar de presentes em quantidade relativamente pequena (0,05%) na medula óssea adulta, as células-tronco hematopoiéticas multiplicam-se ativamente, produzindo tanto células-filhas, que se mantêm como pluripotentes, como células que se diferenciam nos diversos tipos de células sanguíneas. Em uma primeira etapa dessa diferenciação, originam-se duas linhagens celulares denominadas células-tronco mieloides e células-tronco linfoides. As células-tronco mieloides darão origem às hemácias, às plaquetas e aos glóbulos brancos conhecidos como neutrófilos, basófilos, eosinófilos e monócitos; as células-tronco linfoides originam os linfócitos B e T. Os linfócitos B dos mamíferos diferenciam-se na própria medula óssea, ao passo que as células precursoras dos linfócitos T migram da medula óssea para o timo, onde finalizam sua diferenciação. (Fig. 12.3)

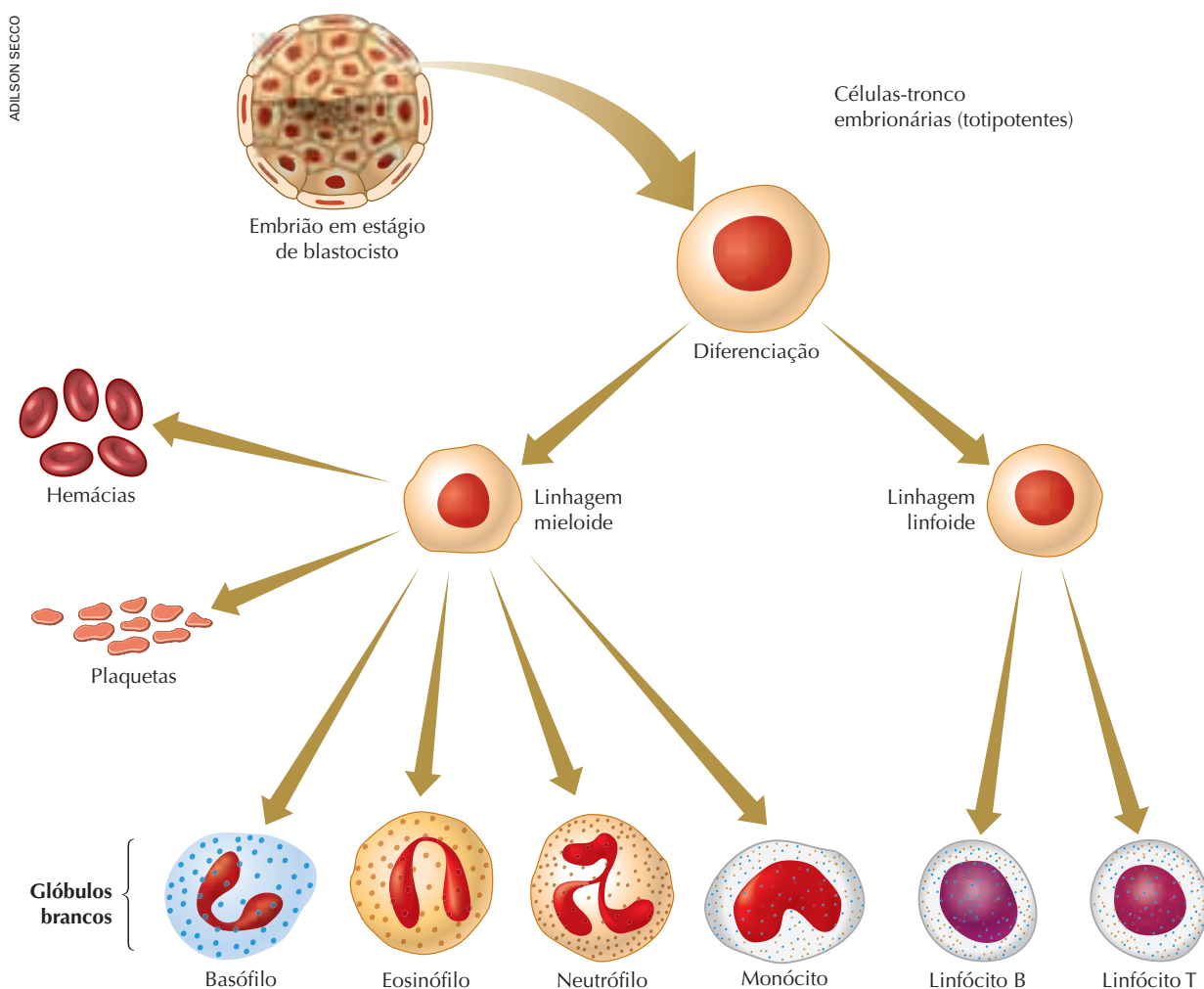


Figura 12.3 Representação esquemática da origem das células do sangue. [Imagens sem escala, cores-fantasia.]

O **timo** é um órgão localizado sob nosso osso esterno, na altura do coração, que cresce rapidamente durante a fase embrionária, atingindo seu maior tamanho ao final da vida fetal e nos primeiros anos após o nascimento. A partir da puberdade, o timo diminui progressivamente de tamanho.

Tecidos como os do timo, onde se concentram linfócitos em formação ou em amadurecimento, são denominados **tecidos linfóides**.

Componentes do sangue humano

» **Habilidade sugerida**

- Explicar as funções das hemácias, dos principais tipos de glóbulos brancos e das plaquetas do sangue humano.

» **Conceitos principais**

- hemácia
- hemoglobina
- anemia
- leucócito
- macrófago
- linfócito
- anticorpo
- plaqueta
- coagulação do sangue

1 **Plasma sanguíneo**

Mais de 90% da massa do plasma sanguíneo é água, sendo o restante constituído por proteínas, sais, hormônios, nutrientes, gases e excreções. A função do plasma é transportar essas substâncias pelo corpo, permitindo às células receber os nutrientes necessários à vida e eliminar substâncias tóxicas geradas no metabolismo.

As proteínas do plasma desempenham diversas funções. Por exemplo, pequenas moléculas proteicas produzidas pelo fígado, denominadas genericamente albuminas e que constituem metade do conteúdo proteico de nosso plasma sanguíneo, são responsáveis pelo transporte de ácidos graxos livres, pela viscosidade do sangue e por seu potencial osmótico. Se a concentração de albuminas no sangue baixa, a pressão osmótica sanguínea diminui e o plasma extravasa em maior quantidade para os espaços intercelulares dos tecidos, provocando edemas.

Outro grupo de proteínas plasmáticas importantes é o das imunoglobulinas, que atuam como anticorpos, defendendo nosso corpo de microrganismos invasores e de substâncias estranhas. O plasma contém também proteínas responsáveis pelo processo de coagulação do sangue. Quando ocorre um ferimento, moléculas de uma proteína denominada fibrinogênio originam uma malha fibrosa que prende as células sanguíneas e forma o coágulo, estancando a hemorragia (perda de sangue). A coagulação do sangue será estudada mais adiante neste capítulo.

2 **Hemácias (glóbulos vermelhos)**

Hemácias, também chamadas de **eritrócitos** (do grego *eritros*, vermelho) ou **glóbulos vermelhos**, são células discoidais repletas de moléculas de hemoglobina, a proteína responsável pela cor vermelha do sangue. As hemácias dos mamíferos não possuem núcleo, que é eliminado durante sua diferenciação; nos demais vertebrados, elas são ovóides e possuem núcleo, mas ele não é funcional. As hemácias são os elementos figurados mais abundantes no sangue: homens adultos saudáveis possuem entre 4,1 e 6 milhões delas por milímetro cúbico de sangue, enquanto mulheres adultas saudáveis têm entre 3,9 e 5,5 milhões de hemácias por milímetro cúbico de sangue. (Fig. 12.4)

Uma hemácia é essencialmente um saco achatado repleto de moléculas de hemoglobina, proteína responsável pela captura de gás oxigênio nos pulmões e por seu transporte para todos os tecidos do corpo. Ela tem a forma de um disco com bordas arredondadas, mais fino no centro, sendo altamente adaptada às funções de transportar gás oxigênio dos pulmões para os tecidos. Se a hemácia fosse esférica, moléculas de hemoglobina localizadas em sua parte mais central não entrariam em contato direto com a superfície; na célula discoidal, todas as moléculas de hemoglobina ficam próximas da membrana plasmática e acessíveis ao gás oxigênio que se difunde através dela.

Figura 12.4 Micrografia de hemácias humanas ao microscópio eletrônico de varredura (aumento $\approx 3.500\times$). Nos mamíferos, as hemácias são anucleadas e têm formato discoidal, com cerca de $7\ \mu\text{m}$ a $8\ \mu\text{m}$ de diâmetro e de $1\ \mu\text{m}$ a $2\ \mu\text{m}$ de espessura.



ANDREW SYRED/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

As hemácias têm vida curta. Na espécie humana, elas duram entre 100 e 120 dias, após o que são destruídas no fígado e no baço. Sua quantidade no sangue, no entanto, mantém-se relativamente constante, pois novas hemácias são continuamente formadas na medula óssea vermelha em um processo denominado **eritropoiese**. Nesse processo, células-tronco hematopoiéticas mieloides diferenciam-se em eritroblastos, que, quando jovens, sintetizam e acumulam grande quantidade de moléculas de hemoglobina. O núcleo dos eritroblastos torna-se inativo no decorrer de sua maturação e a quantidade de RNA citoplasmático é drasticamente reduzida. Finalmente, o núcleo é expelido e o eritroblasto transforma-se em um reticulócito anucleado. Este passa para a corrente sanguínea e, em menos de 24 horas, perde o resto do RNA citoplasmático, transformando-se em uma hemácia madura. (Fig. 12.5)

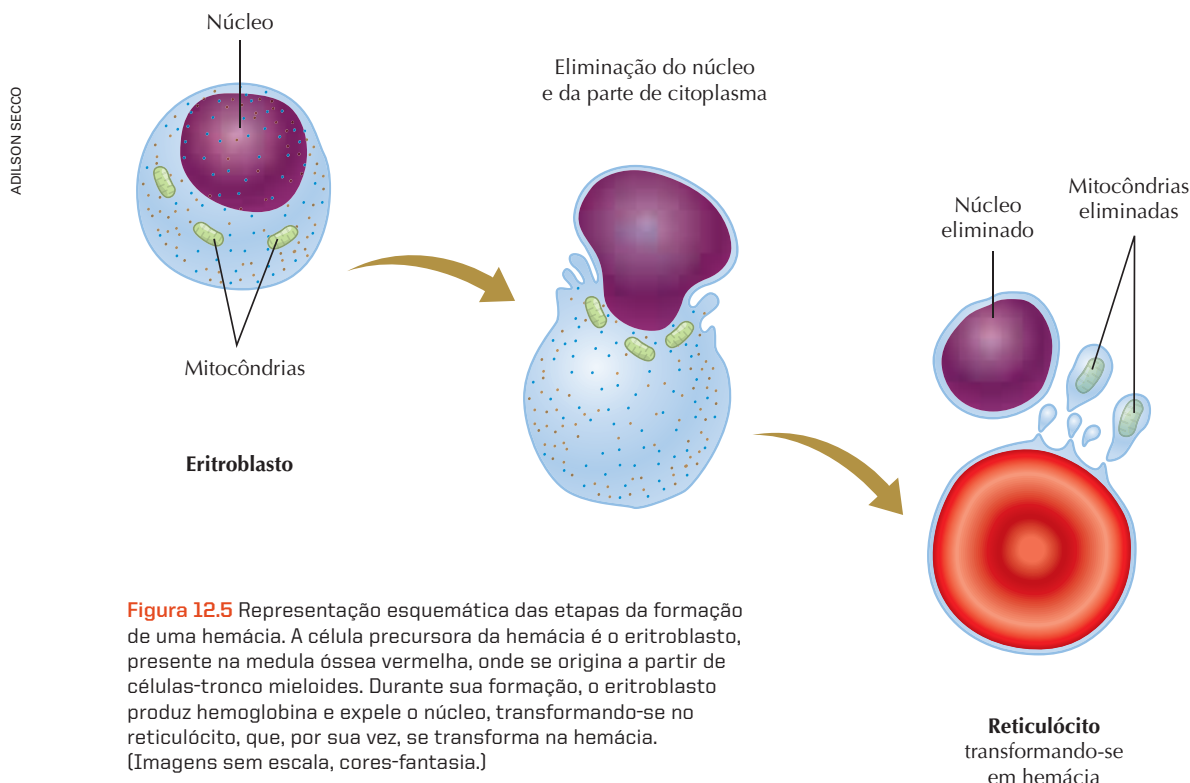


Figura 12.5 Representação esquemática das etapas da formação de uma hemácia. A célula precursora da hemácia é o eritroblasto, presente na medula óssea vermelha, onde se origina a partir de células-tronco mieloides. Durante sua formação, o eritroblasto produz hemoglobina e expelle o núcleo, transformando-se no reticulócito, que, por sua vez, se transforma na hemácia. [Imagens sem escala, cores-fantasia.]

Hemoglobina

Uma molécula de **hemoglobina** é formada por quatro cadeias polipeptídicas (duas cadeias α e duas cadeias β), cada uma delas combinada a um **grupo heme**, que consiste em um átomo de ferro (Fe) unido a uma molécula orgânica não proteica denominada protoporfirina. Em ambientes com alta pressão de gás oxigênio e pH alto, como nos pulmões, cada grupo heme da hemoglobina liga-se a uma molécula de gás oxigênio, formando o complexo **oxiemoglobina** (HbO_2). Nessa forma combinada, o gás oxigênio é transportado dentro das hemácias desde os pulmões até os capilares sanguíneos, atingindo todos os tecidos. Há cerca de 250 milhões de moléculas de hemoglobina em cada hemácia, capazes de transportar até 1 bilhão de moléculas de gás oxigênio. Nos capilares sanguíneos, onde a pressão de gás oxigênio e o pH são mais baixos, o gás oxigênio dissocia-se da hemoglobina e penetra nas células, onde é utilizado na respiração celular. (Fig. 12.6)

Pesquisas recentes mostraram que a hemoglobina também se liga a moléculas do gás óxido nítrico (NO), transportando-as até os tecidos, onde elas são liberadas juntamente com o gás oxigênio. O óxido nítrico provoca o relaxamento da parede dos capilares sanguíneos, permitindo que eles se expandam, um efeito que provavelmente facilita a liberação do gás oxigênio para as células.

Anemia é a condição em que o transporte de gás oxigênio encontra-se prejudicado devido à diminuição da quantidade de hemoglobina no sangue. A anemia pode ocorrer por motivos diversos: em virtude de hemorragias (perda de sangue) ou de doenças que afetam a produção de hemácias normais; por deficiência de ferro no organismo, o que prejudica a síntese de hemoglobina etc. A pessoa anêmica tem a taxa de respiração celular reduzida, o que acarreta diminuição na produção de energia e, conseqüentemente, uma baixa geral no metabolismo. Assim, os principais sintomas da anemia são falta de vigor e cansaço físico e mental.

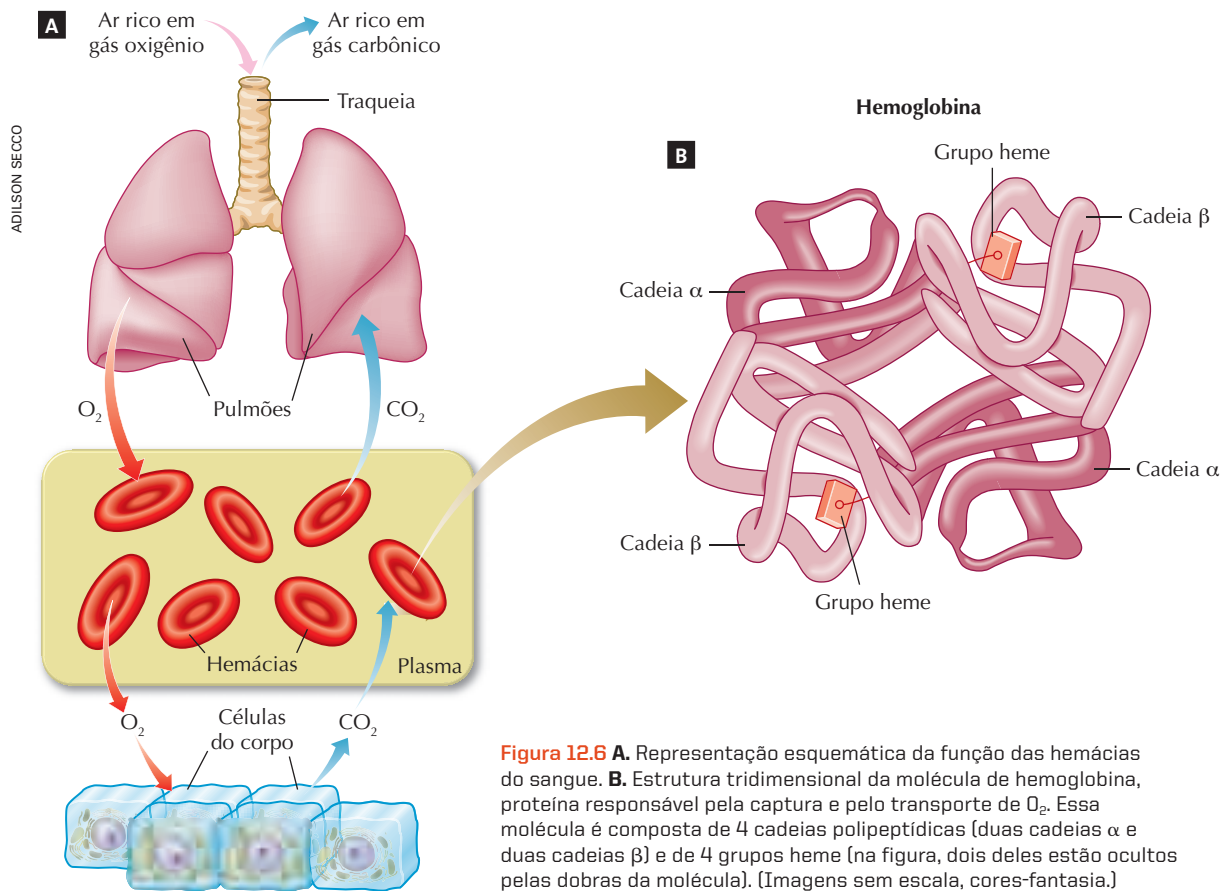
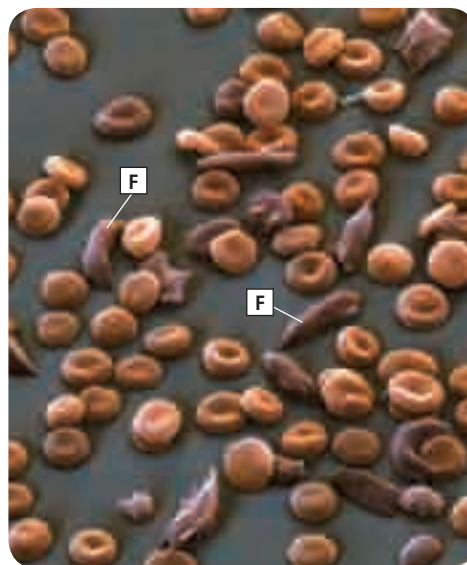


Figura 12.6 **A.** Representação esquemática da função das hemácias do sangue. **B.** Estrutura tridimensional da molécula de hemoglobina, proteína responsável pela captura e pelo transporte de O₂. Essa molécula é composta de 4 cadeias polipeptídicas (duas cadeias α e duas cadeias β) e de 4 grupos heme (na figura, dois deles estão ocultos pelas dobras da molécula). (Imagens sem escala, cores-fantasia.)

Uma forma hereditária de anemia é a **siclemia** ou **anemia falciforme**, causada por uma alteração (mutação) no gene que codifica a cadeia β da hemoglobina. A hemoglobina mutante (siclêmica) difere da normal em apenas um aminoácido, entre os 146 que constituem a cadeia β: na hemoglobina normal, o sexto aminoácido dessa cadeia é o ácido glutâmico; na hemoglobina ciclêmica, é a valina. Em consequência dessa substituição, a hemoglobina torna-se menos solúvel e, nas condições de baixa pressão de gás oxigênio existentes nos capilares sanguíneos, as moléculas de hemoglobina ciclêmica agrupam-se em feixes que deformam a hemácia, levando-a a adquirir forma de foice. Essa é a origem do termo “anemia falciforme” (do latim *falcis*, foice) e também do termo “siclemia” (do inglês *sickle*, foice).

As hemácias ciclêmicas (deformadas) não circulam eficientemente pelos finíssimos capilares sanguíneos, dificultando a circulação do sangue e causando danos aos tecidos, particularmente nos ossos e rins. Além disso, as hemácias ciclêmicas são frágeis e se rompem com facilidade. A redução no número de hemácias e seu funcionamento anormal nas pessoas portadoras de siclemia causam deficiência no transporte de gás oxigênio. (Fig. 12.7)

Figura 12.7 Micrografia, ao microscópio eletrônico de varredura, de hemácias humanas normais e hemácias deformadas, em forma de foice (F), típicas da siclemia (colorizada artificialmente; aumento ≈ 950×).



ALFRED PASIEKA/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

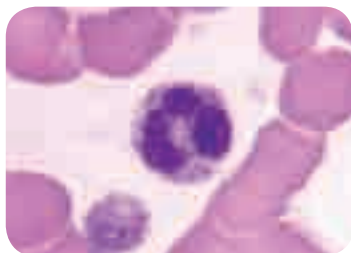
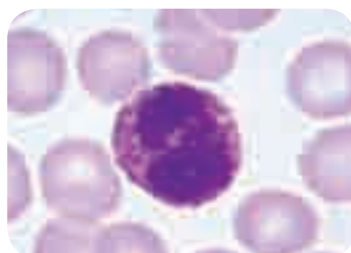
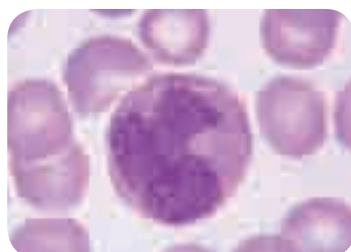
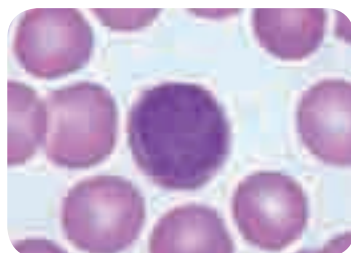
LESTERY. BERGMAN/
CORBIS/LATINSTOCKNEUTRÓFILO (granulócito)
Aumento $\approx 1.380\times$ LESTERY. BERGMAN/
CORBIS/LATINSTOCKEOSINÓFILO (granulócito)
Aumento $\approx 1.380\times$ LESTERY. BERGMAN/
CORBIS/LATINSTOCKBASÓFILO (granulócito)
Aumento $\approx 1.380\times$ LESTERY. BERGMAN/
CORBIS/LATINSTOCKMONÓCITO (agranulócito)
Aumento $\approx 1.380\times$ VISUAL UNLIMITED/
CORBIS/LATINSTOCKLINFÓCITO (agranulócito)
Aumento $\approx 1.380\times$

Figura 12.8 Micrografias de cinco tipos de glóbulos brancos do sangue, ao microscópio óptico.

Leucócitos (do grego *leucos*, branco), também chamados de **glóbulos brancos**, são células esféricas e nucleadas, em geral bem maiores que as hemácias. Em condições normais, há entre 4 mil e 12 mil leucócitos em cada mm^3 de sangue humano. Sua função mais importante é defender o organismo contra microrganismos invasores ou substâncias estranhas que penetrem nos tecidos. Em uma infecção, por exemplo, o número de leucócitos aumenta muito, podendo dobrar ou triplicar.

Os leucócitos podem ser de cinco tipos básicos: neutrófilos, eosinófilos (ou acidófilos), basófilos, monócitos e linfócitos. Os três primeiros tipos apresentam granulações evidentes no citoplasma e por isso são chamados de leucócitos granulosos, ou granulócitos. Por não possuírem grânulos citoplasmáticos evidentes, linfócitos e monócitos são chamados de leucócitos não granulosos, ou agranulócitos. Os linfócitos surgem pela diferenciação de células-tronco linfoides, enquanto os neutrófilos, os eosinófilos, os basófilos e os monócitos diferenciam-se a partir de células-tronco mieloides, a mesma linhagem que dá origem às hemácias. (Fig. 12.8)

Neutrófilos

Neutrófilos representam de 40% a 75% dos leucócitos de nosso sangue. Sua principal função é fagocitar bactérias e outros microrganismos que eventualmente invadam o corpo, sendo particularmente ativos no início de uma infecção. O pus que se forma em um ferimento infeccionado contém uma grande quantidade de neutrófilos que morreram no combate aos agentes infecciosos.

Eosinófilos (acidófilos)

Eosinófilos ou **acidófilos** representam de 2% a 4% dos leucócitos do sangue humano. Sua principal função é combater invasores de grande tamanho, como vermes parasitas.

Basófilos

Basófilos representam apenas de 0,5% a 1% dos leucócitos do sangue humano e originam-se de células-tronco mieloides. Apesar de sua função ainda não ser bem conhecida, sabe-se que os basófilos liberam histamina, uma substância que se forma a partir da descarboxilação (perda do grupo carboxila) do aminoácido histidina e que desempenha papel importante nas inflamações e respostas alérgicas. A histamina provoca aumento da permeabilidade dos capilares sanguíneos, facilitando a saída de anticorpos e de neutrófilos para os locais onde estão presentes eventuais invasores a serem combatidos. A histamina é responsável pelo inchaço (edema), pela vermelhidão (eritema) e pela coceira que geralmente ocorrem na região dos ferimentos. Outros efeitos da histamina são o aumento da coriza (eliminação de secreção mucosa pelas narinas) e a contração da musculatura lisa dos brônquios.

Além da histamina, os basófilos também liberam heparina, um glicosaminoglicano (polissacarídeo) com propriedades anticoagulantes.

Monócitos

Monócitos são as células sanguíneas de maior tamanho e representam de 2% a 8% dos leucócitos do sangue humano. Os monócitos recém-produzidos na medula óssea a partir da diferenciação de células-tronco mieloides não apresentam atividade fagocitária. Eles permanecem na circulação por poucas horas e logo migram para os tecidos, onde amadurecem, transformando-se em **macrófagos**, células muito ativas na fagocitose de microrganismos invasores, de resíduos e de células mortas.

Alguns macrófagos deslocam-se continuamente pelo corpo, enquanto outros permanecem fixos em certos tecidos e recebem denominações especiais; nos pulmões, por exemplo, eles são chamados de macrófagos alveolares; no fígado, de células de Kupffer; nos rins, de células mesangiais; no encéfalo, de células microgliais; nos tecidos conjuntivos, de histiócitos.

Os macrófagos estão presentes em grande número no baço, nos linfonodos e em outros tecidos linfoides, onde ficam estrategicamente posicionados para filtrar a linfa, retirando dela resíduos e eventuais invasores. No tecido ósseo, diversos monócitos fundem-se e originam os osteoclastos, células gigantes com de 6 a 50 núcleos, especializadas na reciclagem de tecido ósseo.

Linfócitos

Os **linfócitos**, que constituem cerca de 20% a 30% dos leucócitos do sangue humano, têm diâmetro entre 6 μm e 8 μm , núcleo arredondado e, em geral, apresentam pouca ou nenhuma granulação no citoplasma. Eles originam-se de células-tronco linfoides da medula óssea e podem ser de dois tipos básicos: linfócitos B e linfócitos T.

Os **linfócitos B** são especializados na produção de **anticorpos**, imunoglobulinas que reconhecem e combatem microrganismos e substâncias estranhas que penetram no corpo.

Há vários tipos de **linfócito T**, classificados de acordo com certas moléculas presentes em sua superfície, conhecidas pela sigla CD (do inglês *cluster of differentiation*, grupo de diferenciação). Os linfócitos T podem ser auxiliares (presença da molécula CD4); citotóxicos (presença da molécula CD8); reguladores (presença simultânea das moléculas CD4 e CD25).

4

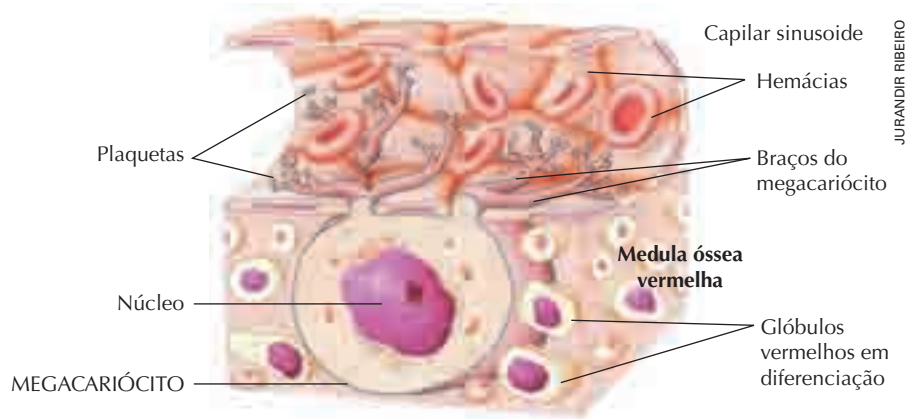
Plaquetas (trombócitos)

Plaquetas, ou **trombócitos** (do grego *thrombos*, coágulo), são fragmentos citoplasmáticos anucleados, de forma irregular ou oval (com de 2 μm a 4 μm de diâmetro), envoltos por membrana plasmática e por um espesso revestimento de glicoproteínas, responsável por suas propriedades adesivas. Elas estão presentes no sangue numa concentração da ordem de 300 mil por milímetro cúbico.

As plaquetas originam-se na medula óssea vermelha a partir de células denominadas **megacariócitos**, as quais surgem de células-tronco hematopoiéticas. Nesse processo, o megacariócito maduro emite prolongamentos citoplasmáticos longos e finos, que penetram nos sinusoides presentes na medula. Dentro deles, as extremidades dos prolongamentos estrangulam-se, liberando fragmentos que são as plaquetas. (Fig. 12.9)

Figura 12.9

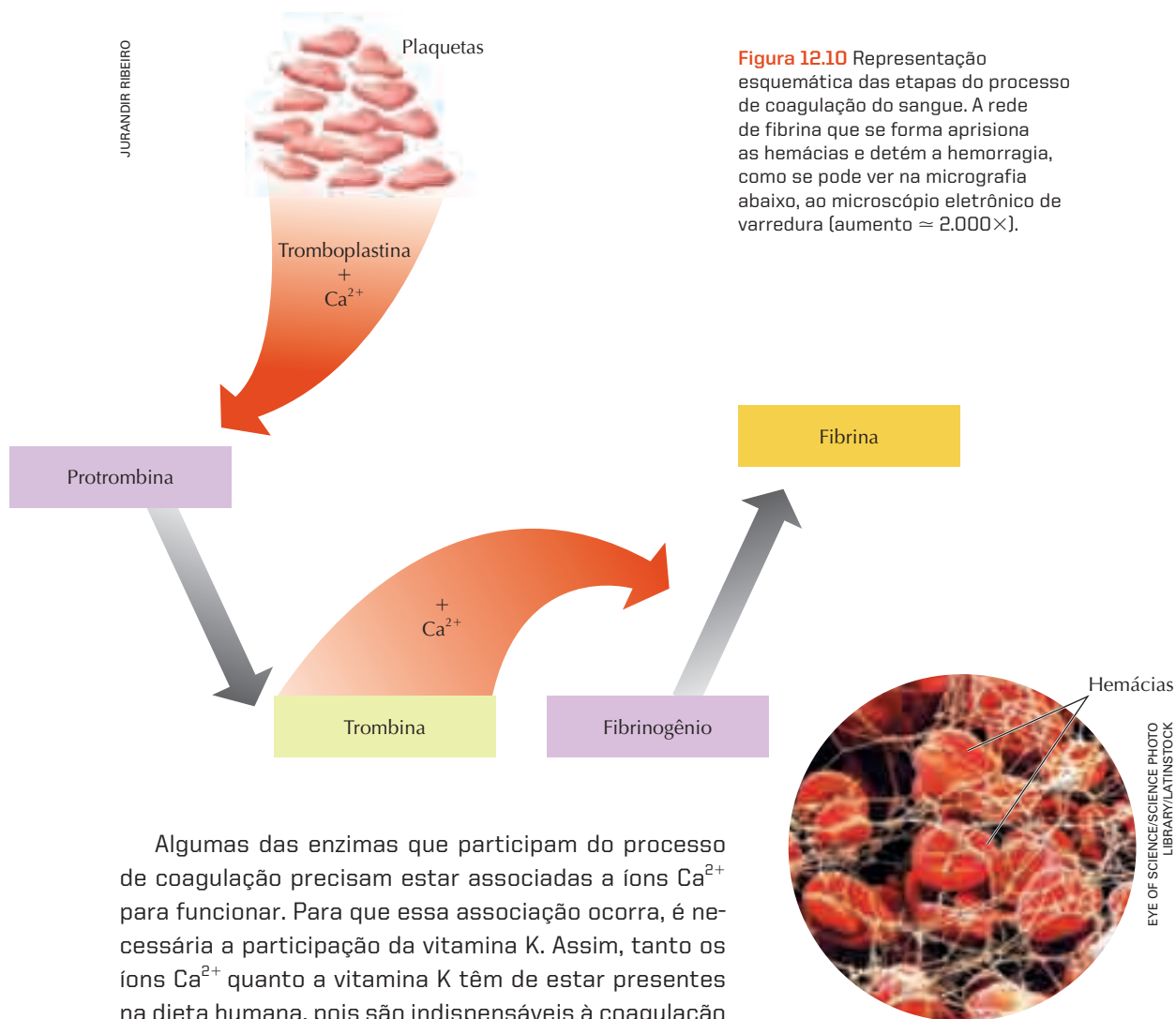
Representação esquemática de um capilar sanguíneo da medula óssea vermelha, em corte, mostrando a formação de plaquetas a partir de um megacariócito. (Imagem sem escala, cores-fantasia.)



A coagulação do sangue

As plaquetas são agentes importantes na **coagulação do sangue**. Quando um vaso sanguíneo é lesado, como, por exemplo, no caso de um ferimento, as plaquetas são ativadas e aderem entre si e ao local da lesão. Elas, então, liberam uma enzima denominada **tromboplastina**, que inicia uma complexa sequência de reações químicas no plasma sanguíneo, que leva à formação do coágulo.

Em resumo, a tromboplastina, agindo em conjunto com íons de cálcio (Ca^{2+}) e outras moléculas, catalisa a reação de conversão de uma proteína sanguínea, a **protrombina**, em **trombina**. Esta é enzimaticamente ativa e catalisa a conversão de outra proteína sanguínea, o **fibrinogênio**, em **fibrina**, uma proteína fibrosa cujas moléculas se entrelaçam formando uma rede. As hemácias, incapazes de atravessar a rede de fibrina que se forma no local do ferimento, acumulam-se, originando o coágulo, que estanca a hemorragia. (Fig. 12.10)



Algumas das enzimas que participam do processo de coagulação precisam estar associadas a íons Ca^{2+} para funcionar. Para que essa associação ocorra, é necessária a participação da vitamina K. Assim, tanto os íons Ca^{2+} quanto a vitamina K têm de estar presentes na dieta humana, pois são indispensáveis à coagulação do sangue.

Na espécie humana, há uma doença hereditária que afeta a coagulação sanguínea: a **hemofilia**. No tipo mais comum de hemofilia, o sangue da pessoa não coagula devido a uma incapacidade genética de fabricar o fator VIII, um dos diversos fatores necessários ao processo de coagulação. Além de sofrer sangramentos prolongados mesmo em pequenos ferimentos externos, a pessoa hemofílica apresenta hemorragias internas, principalmente nas articulações. Para evitar hemorragias nos portadores de hemofilia, deve-se fazer a transfusão de sangue ou de plasma frescos ou providenciar a injeção concentrada de fatores de coagulação.

QUESTÕES PARA PENSAR E DISCUTIR

Questões objetivas

Considere as alternativas a seguir para responder às questões de 1 a 6.

- a) Hemácia.
- b) Leucócito.
- c) Linfa.
- d) Linfonodo.
- e) Plaqueta.
- f) Plasma sanguíneo.

1. Qual é o nome dos fragmentos celulares que participam dos processos de coagulação do sangue?
2. Qual é o nome do fluido em que estão mergulhadas as células sanguíneas?
3. Como se denomina a célula de forma discoide, sem núcleo e de cor vermelha devida à presença de hemoglobina?
4. Que célula sanguínea tem forma esférica, núcleo bem desenvolvido e atua na defesa do corpo contra infecções?
5. Qual é a denominação do fluido que corre pelo interior dos vasos linfáticos?
6. Qual das alternativas é a denominação de um órgão linfóide associado ao sistema linfático?

Considere as alternativas a seguir para responder às questões de 7 a 9.

- a) Anticorpo.
 - b) Antígeno.
 - c) Linfócito B.
 - d) Linfócito T.
 - e) Macrófago.
7. Como se denomina um tipo de célula do sangue que pode movimentar-se nos tecidos, ingerindo microrganismos e resíduos por fagocitose?
 8. Como se denomina uma substância proteica capaz de reconhecer e combater substâncias estranhas ao organismo?
 9. Que célula é responsável pela produção de substâncias proteicas específicas capazes de reconhecer e combater substâncias estranhas ao organismo?

Questão discursiva

10. Elabore um diagrama esquemático, com legendas, que relacione os seguintes fatores implicados na coagulação:
 - a) plaquetas;
 - b) tromboplastina;
 - c) trombina;
 - d) fibrinogênio;
 - e) fibrina;
 - f) íons de cálcio.

VESTIBULARES PELO BRASIL

Questões objetivas

1. (UFPB) Células especializadas patrulham o nosso corpo circulando pelos vasos sanguíneos e linfáticos. Assim que percebem a presença de microrganismos, essas células atravessam a parede dos vasos e invadem os tecidos, fagocitando esses microrganismos, que depois são digeridos pelos seus lisossomos. As células mencionadas são
 - a) neutrófilos e linfócitos.
 - b) neutrófilos e plaquetas.
 - c) macrófagos e linfócitos.
 - d) macrófagos e plaquetas.
 - e) neutrófilos e macrófagos.

2. (UFC-CE-Adaptado) Sobre os elementos figurados do sangue dos mamíferos, são feitas as afirmativas abaixo:

- I. Os leucócitos são os elementos figurados mais numerosos na corrente sanguínea e desempenham importante papel na defesa do organismo.
- II. As hemácias são elementos figurados anucleados presentes na circulação e desempenham importante papel no transporte de gases.
- III. As plaquetas são elementos celulares menos numerosos presentes na circulação, atuando nos processos de coagulação sanguínea.

Qual é a opção correta?

- a) I, II e III são verdadeiras.
- b) Somente I e II são verdadeiras.
- c) Somente II e III são verdadeiras.
- d) Somente II é verdadeira.
- e) Somente III é verdadeira.

3. (Cesgranrio-RJ-Adaptado) Encontram-se listadas a seguir algumas propriedades, características ou funções dos elementos figurados do sangue humano. Associe um número a cada uma, utilizando o seguinte código:

- I. Referente a hemácias.
- II. Referente a leucócitos.
- III. Referente a plaquetas.

- Transporte de oxigênio.
- Defesa fagocitária e imunitária.
- Coagulação do sangue.
- Riqueza em hemoglobina.
- Capacidade de atravessar a parede dos capilares intactos para atingir uma região infectada do organismo.

Dentre as possibilidades abaixo, qual contém a sequência numérica correta?

- a) I, II, III, I, II.
- b) II, II, III, I, I.
- c) III, I, III, I, II.
- d) I, II, II, I, III.
- e) I, II, III, II, III.

4. (Fuvest-SP) Têm (ou tem) função hematopoiética
- as glândulas parótidas.
 - as cavidades do coração.
 - o fígado e o pâncreas.
 - o cérebro e o cerebelo.
 - a medula vermelha dos ossos.

5. (UFSCar-SP) Doses intensas de radiação ionizante podem danificar a medula óssea e tornar uma pessoa anêmica.

Nesse caso, a razão da anemia é que a medula óssea

- é a fonte do iodo necessário à síntese da hemoglobina.
- é a fonte do ferro necessário à síntese da hemoglobina.
- é a fonte dos aminoácidos essenciais para a síntese dos anticorpos.
- contém as células-tronco que se diferenciam em hemácias.
- contém as células-tronco que se diferenciam em plaquetas.

6. (Unifesp) O tratamento da leucemia por meio dos transplantes de medula óssea tem por princípio a transferência de células-tronco da medula de um indivíduo sadio para o indivíduo afetado. Tal procedimento fundamenta-se no fato de que essas células-tronco
- podem ser usadas para a clonagem de células sadias do paciente.

b) não serão afetadas pela doença, já que foram diferenciadas em outra pessoa.

c) secretam substâncias que inibem o crescimento celular.

d) podem dar origem a linfócitos T, que, por sua vez, ingerem os leucócitos em excesso.

e) podem dar origem a todos os diferentes tipos de células sanguíneas.

7. (Fatec-SP) Sobre os elementos figurados do sangue de uma pessoa, foram feitas as seguintes afirmações:

I. As hemácias permanecem na circulação por 120 dias, sendo então removidas e destruídas no baço.

II. O transporte de oxigênio ocorre graças à presença da hemoglobina no interior dos glóbulos vermelhos.

III. A contagem de leucócitos costuma diminuir em doenças infecciosas, como pneumonia e meningites.

IV. As plaquetas são importantes na defesa do organismo contra agentes infecciosos.

V. Apenas nos mamíferos as hemácias são anucleadas.

Deve-se concluir que

- estão corretas apenas as afirmações I, II e V.
- estão corretas apenas as afirmações III e IV.
- apenas a afirmação IV está correta.
- estão corretas apenas as afirmações I e III.
- todas as afirmações estão corretas.

8. (Vunesp) Enquanto coletava plantas para a aula de botânica, Pedrinho acidentalmente perfurou o dedo com um espinho. Antes mesmo que providenciasse um curativo, percebeu que o sangue parava de escorrer pela pele perfurada. A formação de coágulo que estancou o sangue ocorreu porque

a) o fibrinogênio converteu-se em fibrina, por ação da enzima trombina.

b) a fibrina converteu-se em fibrinogênio, por ação da enzima tromboplastina.

c) a tromboplastina converteu-se em fibrina, por ação da enzima trombina.

d) a protrombina converteu-se em trombina, por ação da enzima fibrina.

e) a trombina converteu-se em fibrinogênio, por ação da enzima tromboplastina.

9. (PUC-RS) Uma análise completa do pus mostraria que essa secreção é constituída por

a) leucócitos em processo de degeneração, soro, fragmentos de vírus, proteínas e fibras.

b) leucócitos em processo de degeneração, plasma, fragmentos de bactérias, proteínas e elementos orgânicos.

c) hemácias íntegras, soro, fragmentos de bactérias, proteínas e elementos orgânicos.

d) hemácias íntegras, plasma, fragmentos de vírus, fibras e elementos orgânicos.

e) hemácias íntegras, soro, fragmentos de bactérias, proteínas e fibras.

Questões discursivas

10. (UFRJ) O encéfalo humano é um dos órgãos que apresentam maior irrigação sanguínea. Isso está relacionado ao fato de suas células demandarem grande quantidade de energia.

Explique de que maneira o grande volume de sangue contribui para a produção de energia nas células do encéfalo humano.

11. (UFRJ) Nos hemogramas, conhecidos popularmente como “exames de sangue”, diversas características são avaliadas.

Hemogramas de três pacientes, X, Y e Z, foram realizados para determinar se eles estavam em condições de sofrer cirurgias de “ponte de safena”, nas quais partes de vasos sanguíneos das pernas são removidas e implantadas no coração, substituindo artérias cujo funcionamento esteja comprometido.

Os resultados parciais dos três hemogramas estão apresentados na tabela a seguir.

Tipos celulares	Valores normais	Pacientes		
		X	Y	Z
Hemácias	De 4,8 a 5,5 milhões/mL	4,8	5,2	5,7
Plaquetas	De 200.000 a 400.000/mL	90.000	420.000	380.000
Leucócitos totais	De 6.000 a 10.000/mL	7.700	9.000	7.000

Com base nesses resultados, os médicos suspenderam a cirurgia de um dos pacientes.

Identifique o paciente que teve a cirurgia suspensa e diga por que os médicos tomaram tal decisão.



Tecidos musculares e tecido nervoso

Nervos e músculos são estruturas tipicamente animais; com exceção dos poríferos, todos os animais possuem células musculares e células nervosas. Nos vertebrados, em particular na espécie humana, o sistema nervoso atinge seu maior grau de complexidade e sofisticação; conversar por meio deste texto nos dá uma ideia do que nosso sistema nervoso é capaz.

Neste capítulo estudaremos as principais características dos tecidos musculares e do tecido nervoso.

► 13.1 Tecidos musculares

Os músculos representam cerca de 40% de nossa massa corporal. Eles são responsáveis por todos os movimentos, desde o dobramento de um braço até a circulação do sangue no corpo; sem falar na movimentação de diversos órgãos internos, como o estômago e os intestinos.

► 13.2 Tecido nervoso

O tecido nervoso constitui os diversos componentes do sistema nervoso, que nos vertebrados compõe-se do encéfalo, da medula espinal, dos nervos e dos gânglios nervosos.

Micrografia ao microscópio eletrônico de transmissão de corte de fibra muscular estriada esquelética parcialmente contraída (colorizada artificialmente; aumento $\approx 785.000\times$). As estruturas coradas em verde, entre as miofibrilas em vermelho, são mitocôndrias, organelas que fornecem energia para a contração muscular.

Tecidos musculares

► Habilidades sugeridas

- Valorizar os conhecimentos sobre a estrutura e o funcionamento do corpo humano, reconhecendo a importância desse saber para prevenir eventuais distúrbios que comprometam nossa saúde.
- Caracterizar os três tipos de tecido muscular – estriado esquelético, estriado cardíaco e não estriado – quanto à estrutura básica de suas células e quanto à sua função básica no organismo humano.
- Descrever a estrutura de uma fibra muscular esquelética e a organização de uma miofibrila.

► Conceitos principais

- **tecido muscular**
- **tecido muscular estriado esquelético**
 - **miócito**
 - **miofibrila**
 - **miômero**
- **tecido muscular estriado cardíaco**
- **tecido muscular não estriado**

Os músculos representam, em média, 40% de nossa massa corporal e são responsáveis por todos os nossos movimentos, assim como pela postura do corpo. Por exemplo, o movimento de seus globos oculares acompanhando estas linhas é resultado da contração de músculos ligados a eles; a postura de seu corpo durante a leitura é resultado da contração de diversos músculos esqueléticos. A contração muscular, além de permitir a postura, a locomoção e os mais diversos tipos de movimentos corporais, também é responsável pela movimentação dos órgãos internos, como os batimentos do coração, a pulsação das artérias, a impulsão do bolo alimentar no trato gastrointestinal, a eliminação de secreções e excreções por glândulas etc. (Fig. 13.1)

Os músculos são constituídos por **tecido muscular**, que se caracteriza por apresentar células altamente contráteis. As células musculares são alongadas e se contraem devido ao encurtamento de filamentos proteicos citoplasmáticos dispostos ao longo de seu comprimento. Esses filamentos (miofibrilas, ou miofilamentos) são compostos por proteínas diversas. As mais abundantes são a actina e a miosina, que formam filamentos organizados de tal maneira que podem deslizar uns sobre os outros, encurtando as miofibrilas e, conseqüentemente, levando à contração da célula muscular. Nos músculos, há também tecido conjuntivo, no qual estão situados vasos sanguíneos que atuam na nutrição e na oxigenação das células musculares.

Há três tipos de tecido muscular: estriado esquelético, estriado cardíaco e não estriado (ou liso). Cada um deles tem características próprias, adequadas ao papel que desempenha no organismo, como veremos a seguir. (Fig. 13.2)

1 Tecido muscular estriado esquelético

O **tecido muscular estriado esquelético** constitui a maior parte da musculatura dos vertebrados, formando o que se chama popularmente de “carne”. O termo esquelético se refere ao fato de esse tipo de musculatura estar preso aos ossos. Já o termo estriado deve-se ao fato de suas fibras constituintes apresentarem estrias (faixas) transversais, regularmente dispostas ao longo de seu comprimento.



Figura 13.1 Os movimentos realizados durante uma corrida são resultado da contração de músculos.

RENÉ SHEANOUDA/
CORBISLATINSTOCK

Um músculo estriado esquelético é um pacote de longas fibras musculares (miócitos) que percorrem o músculo de ponta a ponta. As fibras musculares constituem cerca de 75% a 90% do volume total da musculatura estriada esquelética; o restante é formado por tecidos conjuntivos envoltórios, nervos e vasos sanguíneos. Os músculos estriados esqueléticos podem contrair-se voluntariamente, ou seja, em geral, podemos contrai-los quando queremos. Por exemplo, se você decidir rever uma figura deste livro, seu sistema nervoso dará ordens a um conjunto de músculos da mão e do braço e você executará essa ação voluntariamente.

Estrutura da fibra muscular estriada esquelética

Os **miócitos**, também conhecidos como **fibras musculares estriadas esqueléticas**, recebem a denominação de fibra devido ao seu formato alongado. Cada miócito é um **sincício**, termo usado pelos biólogos para definir a estrutura celular resultante da fusão de inúmeras células. Em decorrência de sua origem, uma fibra muscular estriada esquelética tem vários núcleos dispostos na periferia celular e pode atingir entre 50 μm e 150 μm de diâmetro e de alguns milímetros até 30 cm de comprimento.

As fibras musculares estriadas esqueléticas se formam durante o desenvolvimento embrionário, a partir de células precursoras denominadas mioblastos. Estas produzem grande quantidade de proteínas, dentre as quais actina e miosina, e fundem-se umas às outras originando as longas fibras musculares multinucleadas. Os filamentos de actina e miosina e proteínas associadas a eles organizam-se no citoplasma dos miócitos como finíssimos filamentos contráteis, denominados miofibrilas.

Uma **miofibrila**, ou miofilamento, é uma estrutura cilíndrica com cerca de 1 μm a 2 μm de diâmetro, que percorre toda a fibra muscular no sentido longitudinal. A fibra muscular é quase completamente preenchida pelas miofibrilas; por exemplo, um miócito com 50 μm de diâmetro pode ter até 2.000 miofibrilas dispostas lado a lado. O padrão bem definido de faixas transversais claras e escuras alternadas que se repetem ao longo da fibra muscular estriada reflete o arranjo peculiar das proteínas actina e miosina nas miofibrilas, como veremos adiante.

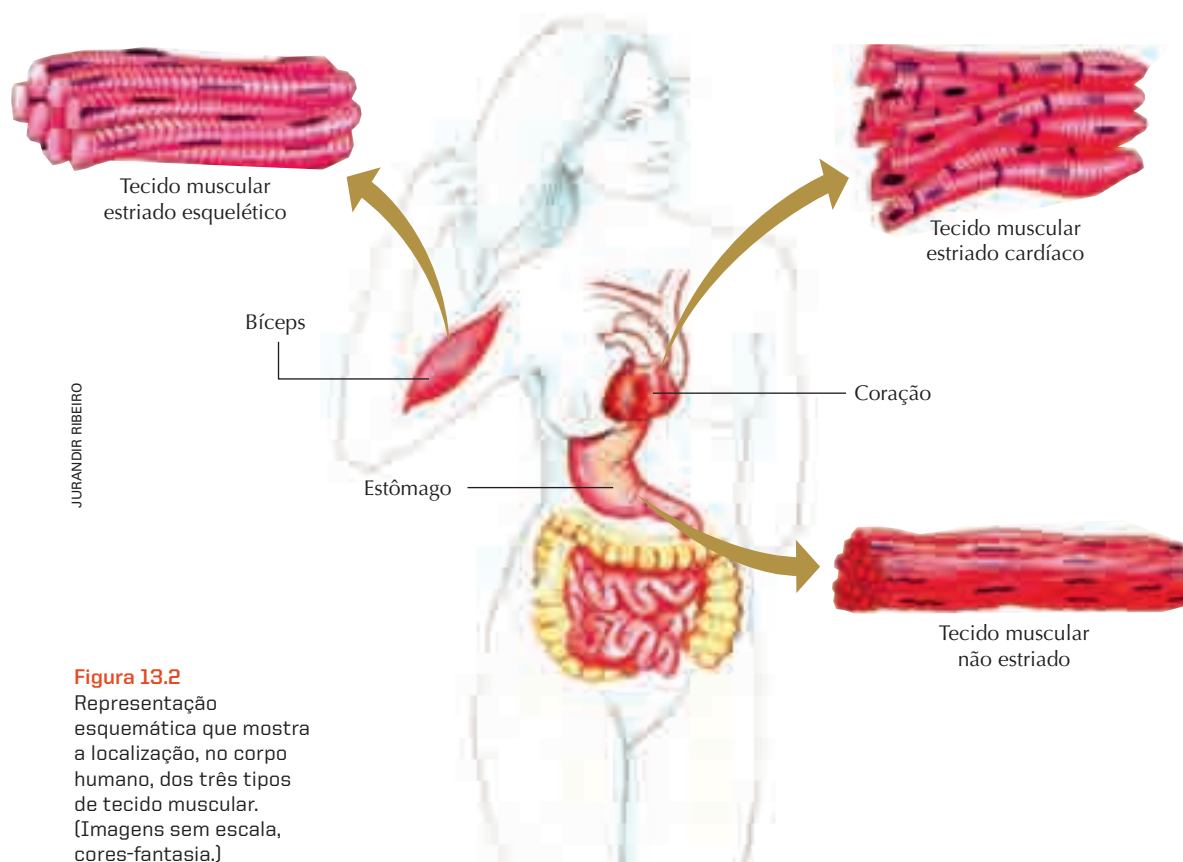


Figura 13.2
Representação esquemática que mostra a localização, no corpo humano, dos três tipos de tecido muscular. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)

Cada fibra muscular estriada esquelética é envolvida por uma rede delicada de tecido conjuntivo, denominada **endomísio** (do grego *endos*, dentro, interno), que contém capilares sanguíneos, responsáveis por sua nutrição e oxigenação, e terminações nervosas, que controlam sua contração. O endomísio é uma continuidade de uma camada mais espessa de tecido conjuntivo, denominada **epimísio** (do grego *epi*, sobre, externo), que envolve grupos de fibras musculares e contém vasos sanguíneos maiores e nervos. O epimísio, por sua vez, é uma continuidade de uma camada ainda mais densa de tecido conjuntivo que envolve todo o músculo, o **perimísio** (do grego *peri*, ao redor). O endomísio (que reveste cada fibra muscular), o epimísio (que reveste cada conjunto de fibras) e o perimísio (que reveste todo o músculo) aglutinam-se nas extremidades dos músculos, onde estes se conectam a tendões ou a outras estruturas conjuntivas. Esse tipo de organização confere grande resistência à musculatura, pois distribui as forças de tensão entre os diversos níveis da estrutura muscular. (Fig. 13.3)

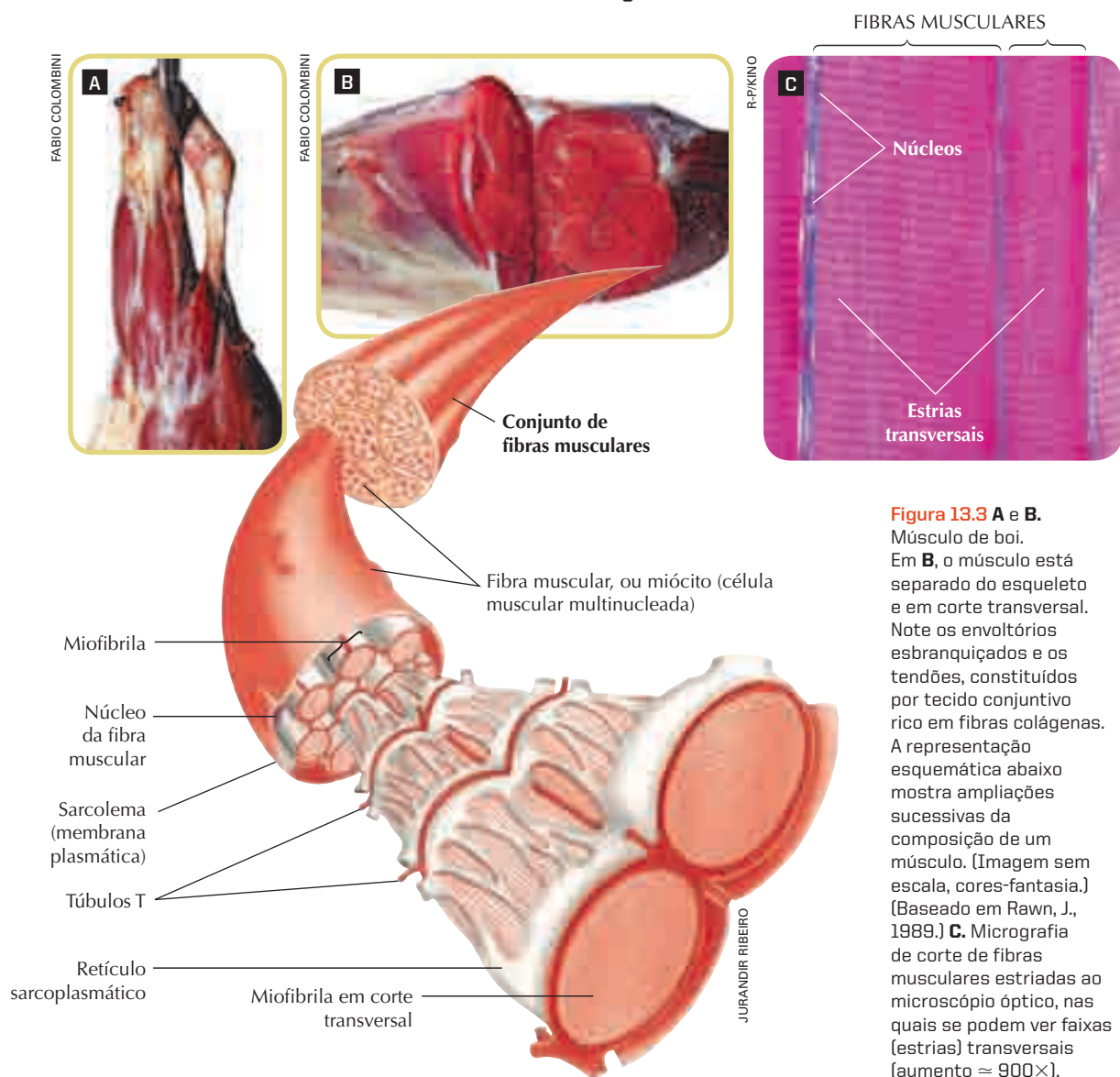


Figura 13.3 A e B. Músculo de boi. Em **B**, o músculo está separado do esqueleto e em corte transversal. Note os envoltórios esbranquiçados e os tendões, constituídos por tecido conjuntivo rico em fibras colágenas. A representação esquemática abaixo mostra ampliações sucessivas da composição de um músculo. (Imagem sem escala, cores-fantasia.) (Baseado em Rawn, J., 1989.) **C.** Micrografia de corte de fibras musculares estriadas ao microscópio óptico, nas quais se podem ver faixas (estrias) transversais (aumento $\approx 900\times$).

Componentes da fibra muscular

A membrana plasmática que envolve cada miócito recebe a denominação de **sarcolema** (do grego *sarcos*, carne, e *lemma*, revestimento) e o citoplasma é chamado de **sarcoplasma**. O número de núcleos de um miócito varia de acordo com seu tamanho; uma fibra longa, com alguns centímetros de comprimento, pode conter centenas de núcleos distribuídos regularmente por toda sua extensão. Os núcleos são ovais e localizam-se logo abaixo da membrana plasmática, comprimidos entre ela e o citoesqueleto constituído pelas miofibrilas.

De espaços em espaços, a membrana plasmática da fibra estriada esquelética se dobra para o interior do sarcoplasma, formando tubos achatados, os **túbulos T**, que se dispõem perpendicularmente às miofibrilas. A fibra muscular estriada contém grande quantidade de retículo endoplasmático não granuloso, nesse caso denominado **retículo sarcoplasmático**, especializado em armazenar íons de cálcio (Ca^{2+}). Bolsas desse retículo envolvem as miofibrilas e, como veremos a seguir, desempenham papel importante na contração muscular. No citoplasma da fibra esquelética, há também muitas mitocôndrias, que produzem a energia necessária para a contração muscular, além de grânulos de glicogênio, que constituem a fonte energética para o trabalho muscular.

Os músculos de cor avermelhada têm essa coloração devido à presença da **mioglobina**, proteína semelhante à hemoglobina, constituída por uma única cadeia polipeptídica ligada a um grupo heme (para comparar, relembre a estrutura da hemoglobina no capítulo 12). Cada mioglobina é capaz de se ligar a uma molécula de oxigênio (O_2) e, dessa forma, pode armazenar esse gás no interior da célula para momentos de grande atividade muscular.

Organização das miofibrilas

As miofibrilas apresentam um padrão de faixas ou estrias transversais que, nos mamíferos, se repete a cada $2,2\ \mu\text{m}$ em média. Cada unidade de repetição, denominada **miômero**, ou **sarcomero**, é delimitada por dois discos transversais, que aparecem ao microscópio eletrônico como duas linhas densas, chamadas de **linhas Z** (ou discos Z). Os miômeros constituem as unidades contráteis básicas de um músculo estriado. Em cada miômero, distinguem-se três faixas (ou bandas) mais claras, separadas por duas faixas mais escuras. As faixas escuras correspondem aos locais onde os filamentos de actina (filamentos delgados) se sobrepõem aos de miosina (filamentos espessos), enquanto as faixas claras correspondem às regiões onde esses filamentos não estão sobrepostos. Nas faixas claras laterais, denominadas **bandas I**, não há filamentos de miosina, ao passo que na faixa clara central, denominada **zona H**, não há filamentos de actina. A porção central dos miômeros, correspondente à localização dos filamentos de miosina, recebe a denominação de **banda A**. (Fig. 13.4)

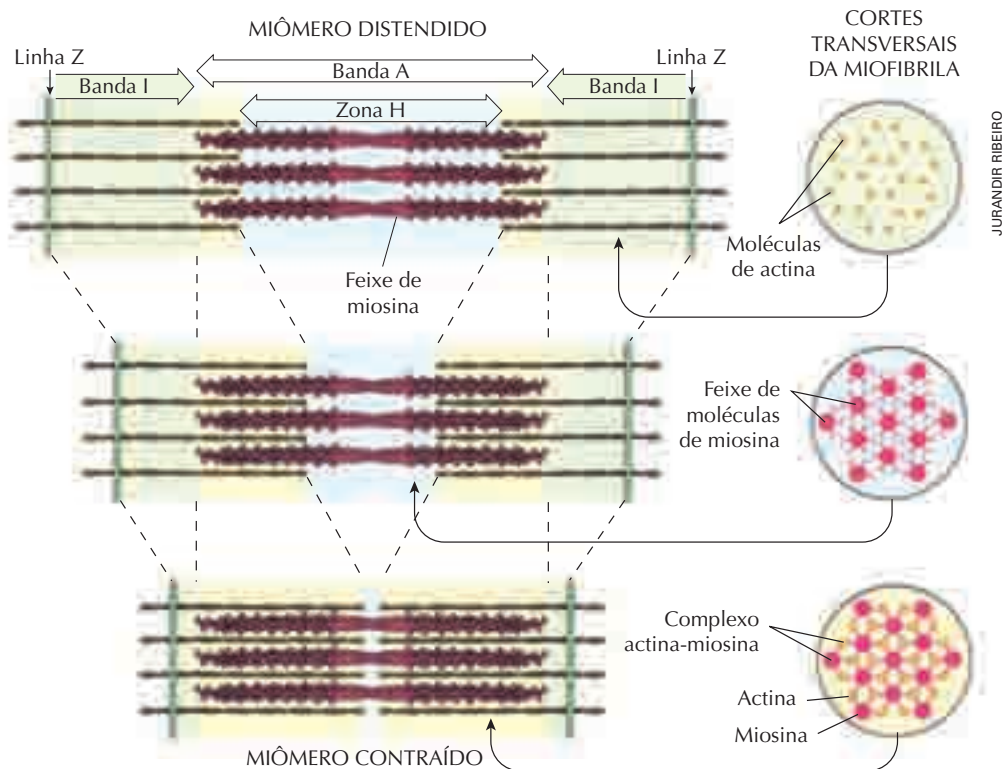


Figura 13.4 Representação esquemática de um miômero em diferentes graus de contração. (Imagens sem escala, cores-fantasia.) As estrias transversais das miofibrilas devem-se ao padrão de organização das proteínas actina e miosina. A unidade básica desse padrão é o miômero, constituído por bandas claras e escuras alternadas delimitadas pelas linhas Z. Observe que, durante a contração muscular, o deslizamento dos filamentos de actina sobre os de miosina faz o miômero encurtar. As bandas I e a zona H diminuem de largura, enquanto a banda A mantém seu tamanho.

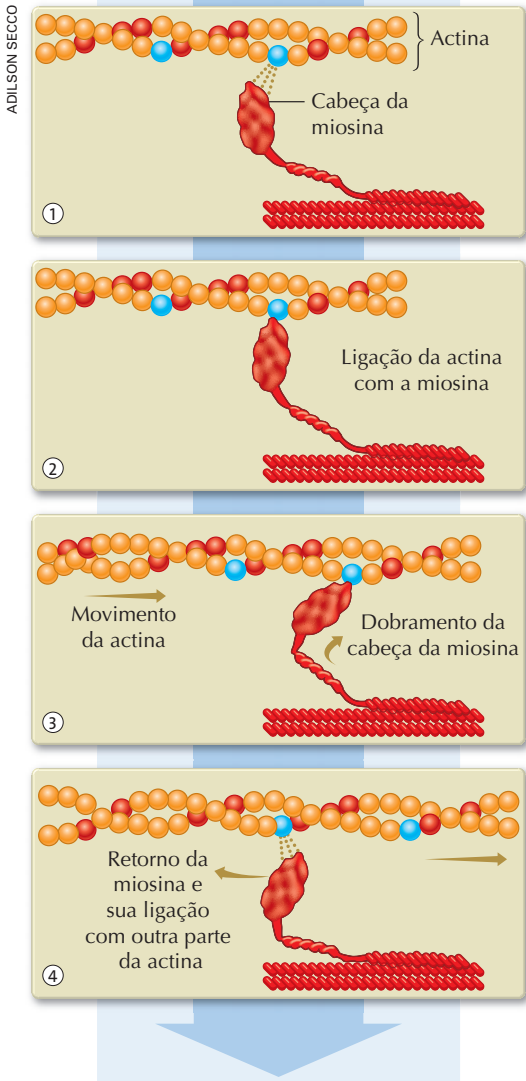


Figura 13.5 Representação esquemática da contração de uma fibra muscular esquelética. As “cabeças” das moléculas de miosina de um filamento encaixam-se a receptores (em azul) dos filamentos de actina, dobrando-se e forçando os filamentos a deslizarem uns sobre os outros, como em uma engrenagem denteada. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)



Figura 13.6 Micrografia de um corte de tecido muscular estriado cardíaco ao microscópio óptico. Note as fibras com estrias transversais e seus núcleos (aumento $\approx 620\times$).

Os filamentos de actina são constituídos por duas moléculas da proteína unidas de forma helicoidal e contêm sítios de ligação com a miosina. Os filamentos de actina se associam a moléculas de duas outras proteínas, a troponina e a tropomiosina. As moléculas de miosina têm a forma de microscópicos tacos de golfe: são bastonetes relativamente longos, com uma das extremidades dilatada, semelhante a um glóbulo e ligeiramente curvada (correspondente à “cabeça do taco”). Certo número dessas moléculas agrega-se formando os filamentos de miosina, mais grossos que os de actina e com as partes globulares das moléculas voltadas para ambas as extremidades.

Os filamentos de actina estão arranjados paralelamente, com uma de suas extremidades presa a um disco Z e a outra livre, voltada para o centro do miômero. Sua disposição é regular e cada filamento ocupa um dos vértices de um hexágono imaginário. No centro de cada um desses conjuntos de actina, fica a extremidade de um filamento de miosina. A outra extremidade do filamento de miosina dispõe-se no centro de outros seis filamentos de actina provenientes do outro disco Z. A contração muscular ocorre quando os filamentos de actina deslizam sobre os filamentos de miosina, aproximando os discos Z e diminuindo o comprimento do miômero. Nesse processo, as “cabeças” dos filamentos de miosina prendem-se aos filamentos de actina que estão ao seu redor e dobram-se em direção ao centro do miômero, encurtando-o. (Fig. 13.5)

2 Tecido muscular estriado cardíaco

O **tecido muscular estriado cardíaco** é encontrado apenas no coração. Apesar de serem chamadas de fibras musculares, as unidades que compõem esse tecido são células dotadas de um único núcleo e não sincícios multinucleados, como as fibras estriadas esqueléticas. As fibras musculares cardíacas assemelham-se às fibras esqueléticas por apresentarem estrias transversais, devidas ao padrão de organização dos filamentos de actina e miosina em seu citoplasma. Os filamentos de actina e miosina, porém, não estão agrupados em feixes formando miofibrilas, como ocorre na musculatura esquelética. As células musculares estriadas cardíacas também são envolvidas por um fino envoltório de filamentos de proteína, o endomísio, mas não há perimísio nem epimísio na musculatura do coração.

Células musculares cardíacas têm ramificações que se conectam umas às outras. A conexão entre elas ocorre em regiões denominadas **discos intercalares**. Devido a essas conexões, um estímulo suficientemente forte em uma região do coração se espalha rapidamente por todas as células musculares estriadas cardíacas, levando todo o órgão a se contrair. Nesse aspecto, também, a fibra estriada cardíaca difere da fibra estriada esquelética, pois esta só se contrai depois de receber um estímulo direto a partir de uma terminação nervosa em contato com ela. A musculatura cardíaca tem **contração involuntária**, ou seja, contrai-se independentemente de nossa vontade. (Fig. 13.6)

Tecido muscular não estriado [ou tecido muscular liso]

O **tecido muscular não estriado**, também conhecido como **tecido muscular liso**, ou **tecido muscular visceral**, está presente em órgãos viscerais, como o estômago, o intestino e o útero, em ductos de diversas glândulas e nas paredes dos vasos sanguíneos, tanto das artérias quanto das veias. Ele é formado por células uninucleadas, alongadas e com as extremidades afiladas (fusiformes), cujo tamanho varia de 30 μm a 450 μm de comprimento por 2 μm a 6 μm de diâmetro.

As células musculares não estriadas não apresentam a estriação transversal característica das células musculares estriadas esqueléticas e cardíacas. Isso porque os filamentos de actina e miosina não se organizam num padrão regular, apesar de estarem orientados de acordo com o eixo maior da célula.

As células musculares não estriadas geralmente estão agrupadas, formando feixes com cerca de 100 μm de diâmetro. Cada célula é envolta por um endomísio com cerca de 60 nm de espessura, constituído por glicosaminoglicanos, glicoproteínas, fibras colágenas e fibras elásticas. As células musculares não estriadas mantêm contato entre si por meio de junções tipo *gap* e de zonas de oclusão. A musculatura não estriada, como a cardíaca, não tem perimísio nem epimísio. (Fig. 13.7)

Células musculares não estriadas não apresentam sistema de túbulos T nem retículo endoplasmático bem desenvolvido. Sua contração é mais lenta que a da fibra esquelética, mas fibras musculares lisas podem se manter contraídas por um período de tempo bem maior.

O movimento dos músculos lisos, assim como do músculo cardíaco, é involuntário: na maioria dos casos, esses músculos não estão sujeitos ao controle consciente. Você pode decidir quando levantar suas mãos, mas não controla conscientemente os movimentos de seu estômago ou de seus intestinos.

SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

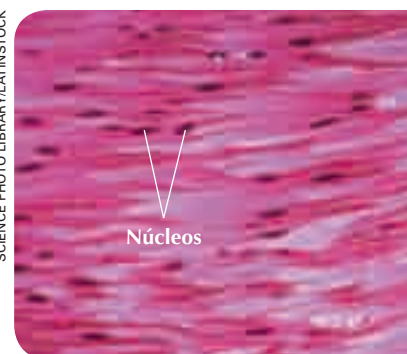


Figura 13.7 Micrografia de corte de tecido muscular não estriado ao microscópio óptico. Note a forma das células, com as pontas afiladas (aumento $\approx 300\times$).

CIÊNCIA E CIDADANIA

Músculos e exercício físico

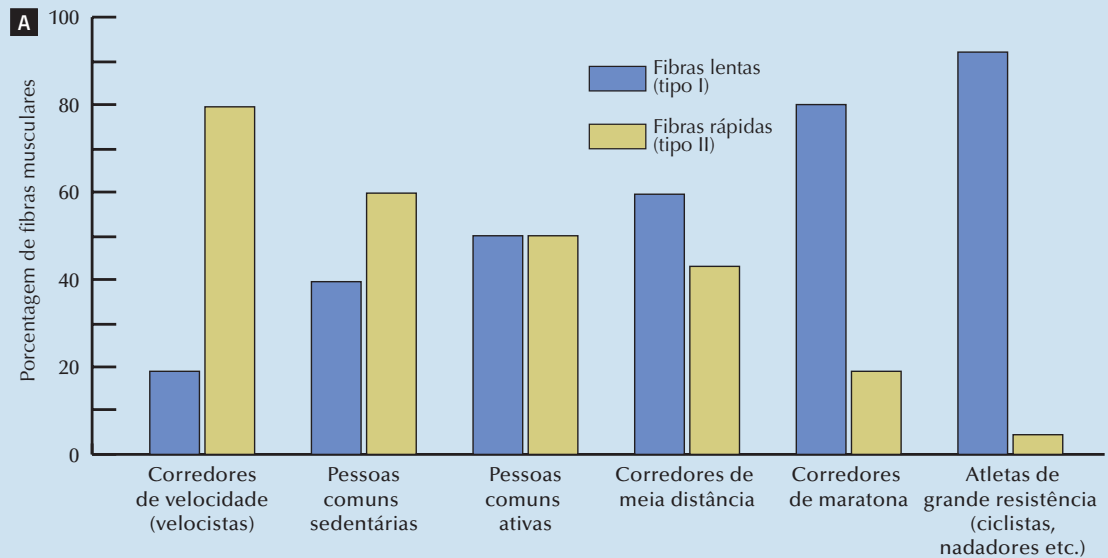
- 1 Pesquisas médicas e biológicas recentes sobre a estrutura e o funcionamento dos músculos têm revelado fatos surpreendentes. Hoje sabemos, por exemplo, que os músculos de um corredor de maratona são bem diferentes dos de um corredor de 100 metros rasos. Sabemos, também, que os diferentes tipos de treinamento físico podem modificar os músculos, aumentando sua força e resistência. Além disso, novas pesquisas têm levado os cientistas a compreender melhor o que ocorre com os músculos ao longo da vida; a partir desses conhecimentos, vemos que é possível prolongar a atividade física e a saúde, mesmo em idades mais avançadas.

Fibras musculares lentas e fibras musculares rápidas

- 2 Recentes pesquisas sobre a fisiologia muscular mostraram que há dois tipos de moléculas de miosina (denominados tipo I, ou miosina lenta, e tipo II, ou miosina rápida), relacionados às diferentes velocidades de contração das fibras musculares. Fibras musculares portadoras de miosina do tipo II (rápida) contraem-se cerca de 10 vezes mais depressa que as fibras portadoras de miosina do tipo I (lenta). Fibras musculares com miosina do tipo I, lentas, têm mais mitocôndrias, maior irrigação sanguínea e maior quantidade de mioglobina que fibras de miosina do tipo II. As fibras lentas são mais eficientes na realização de esforço moderado e prolongado, como o necessário em corridas de longa distância, ciclismo e natação. Fibras musculares com miosina tipo II, rápidas, têm pouca mioglobina, menor quantidade de mitocôndrias e são mais eficientes para realizar esforços intensos de curta duração, como corridas de velocidade ou levantamento de peso.

3 A quantidade de fibras lentas e de fibras rápidas é mais ou menos equivalente na maioria dos adultos saudáveis e ativos. Algumas pessoas, porém, têm maior porcentagem de fibras de um tipo ou de outro. E é exatamente isso que qualifica certas pessoas para atividades atléticas como a maratona, que exige maior quantidade de fibras lentas, e outras para corridas de 100 metros rasos, que exigem maior quantidade de fibras rápidas.

4 O treinamento é capaz de modificar, até certo ponto, a proporção entre fibras lentas e fibras rápidas em nossos músculos. Já se sabe que, quando uma pessoa se submete sistematicamente a exercícios de levantamento de peso, por exemplo, o número de fibras rápidas em seus músculos diminui. Ao mesmo tempo, as fibras lentas intensificam a produção de proteínas, tornando-se mais grossas, o que faz os músculos aumentarem de tamanho (hipertrofia muscular). (Fig. 13.8)



ALESSANDRO PASSOS DA COSTA



TIPP HOWELL/TAXI/GETTY IMAGES

Figura 13.8 **A.** Gráfico que mostra as porcentagens de fibras musculares esqueléticas lentas (em azul) e de fibras musculares esqueléticas rápidas (em ocre), nos músculos das pernas de pessoas com diferentes tipos de atividade física. (Baseado em Andersen, J. e cols., 2000.) **B.** Corredores de curta distância têm, em média, 82% de fibras rápidas e 18% de fibras lentas. **C.** Praticantes de musculação têm, em média, 35% de fibras lentas e 65% de fibras rápidas.



ACE STOCK LIMITED/ALAMY/OTHER IMAGES

Tônus muscular

- 5 Em condições normais, há sempre algumas fibras de um músculo esquelético sendo estimuladas a se contrair. Quando essas fibras se relaxam, outras se contraem em seu lugar, de modo que todo músculo apresenta um estado de tensão muscular sustentado, conhecido como tônus muscular. O tônus é responsável pela firmeza dos músculos e é importante na manutenção da postura do corpo.
- 6 O tônus muscular depende da inervação por neurônios motores e, além de manter os músculos preparados para a contração, é essencial para a manutenção da atividade vital das células musculares. Pessoas com lesões da medula espinal, ou portadoras de certas doenças neurológicas, em que há falta de estimulação nervosa dos músculos, podem perder o tônus e sofrer degeneração do tecido muscular, com consequente atrofia da musculatura. (Fig. 13.9)



Figura 13.9 Praticar atividades que exercitam o controle do sistema muscular pode restabelecer o tônus normal dos músculos, aliviando o estresse.

GUIA DE LEITURA

1. Leia o primeiro parágrafo do quadro. Qual (ou quais) das informações apresentadas lhe despertou mais interesse? Comente.
2. No segundo parágrafo, você encontra informações sobre fibras musculares lentas e rápidas. Uma maneira de tornar mais fácil a visualização dos dados é apresentá-los em forma de tabela. Elabore, com os dados do parágrafo, uma tabela que relacione o tipo de fibra a: a) características gerais; b) tipo de miosina; c) tipo de atividade.
3. Qual é a ideia central do terceiro parágrafo do quadro?
4. Leia o quarto parágrafo: qual é a relação entre treinamento e tipo de músculo?
5. Observe a **Figura 13.8**. a) Faça uma análise do gráfico e elabore uma síntese, por escrito, do que ele apresenta; b) Leia a legenda da figura. Note que ela traz a estimativa do percentual de fibras lentas e rápidas de um praticante de corrida de curta distância (velocista); confira esse tipo de atleta, representado no gráfico (primeiro par de barras). A legenda traz ainda uma informação sobre os tipos de fibras nos músculos dos praticantes de musculação, não representados no gráfico. Faça um gráfico em seu caderno que compare os tipos de músculos desses últimos atletas a pessoas comuns, ativas e sedentárias.
6. Leia os dois últimos parágrafos do quadro (5º e 6º). Com base neles, como você definiria tônus muscular? Informe-se sobre como a prática regular de atividade física pode beneficiar os músculos e o tônus muscular.

Tecido nervoso

1 Organização do sistema nervoso

O **tecido nervoso** forma os diversos componentes do sistema nervoso, que, nos vertebrados, é composto pelo encéfalo, pela medula espinal, pelos nervos e pelos gânglios nervosos. O encéfalo e a medula espinal constituem o **sistema nervoso central (SNC)**; os nervos e gânglios nervosos constituem o **sistema nervoso periférico (SNP)**. (Tab. 13.1)

Tabela 13.1 Divisões do sistema nervoso humano

Divisão	Partes	Funções gerais
Sistema nervoso central (SNC)	Encéfalo	Processamento e integração de informações
	Medula espinal	
Sistema nervoso periférico (SNP)	Nervos	Condução de informações entre órgãos receptores de estímulos, o SNC e órgãos efetadores (músculos, glândulas etc.)
	Gânglios	

O **encéfalo** humano tem cerca de 1,4 kg nas pessoas adultas e preenche totalmente a caixa craniana. Ele está ligado à **medula espinal**, um cordão cilíndrico, com cerca de 1 cm a 1,7 cm de diâmetro, que percorre o meio de nossas costas, alojado no interior do canal formado pelas perfurações das vértebras da coluna vertebral. Tanto do encéfalo quanto da medula partem os **nervos** – filamentos esbranquiçados e finos que se ramificam e atingem todas as regiões do corpo. **Gânglios nervosos** são aglomerados de células nervosas, envoltos por uma cápsula de tecido conjuntivo fibroso, que ocorrem em certos nervos. (Fig. 13.10)

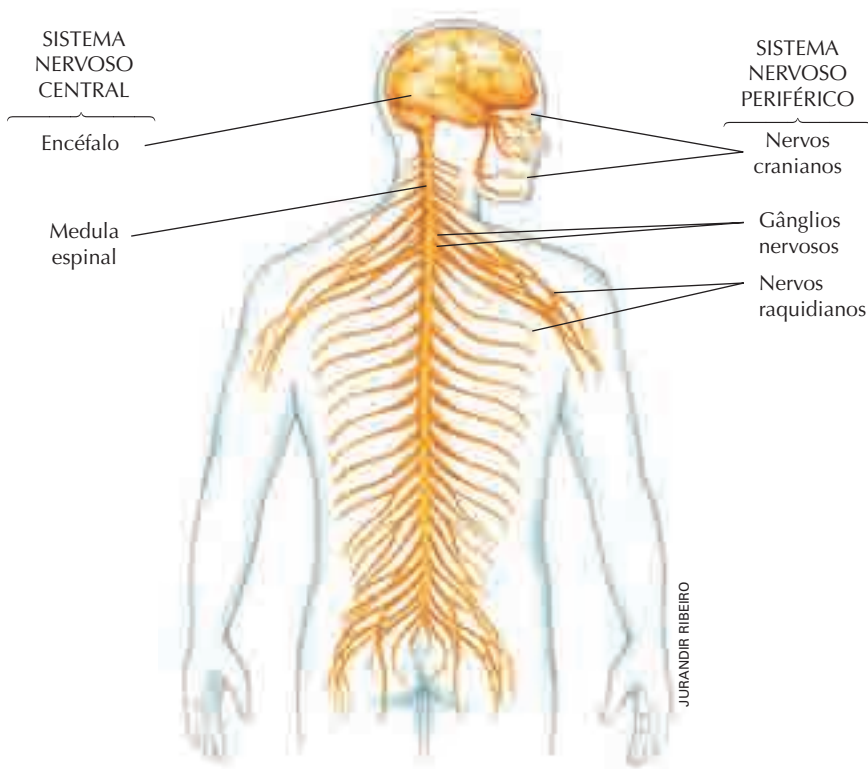
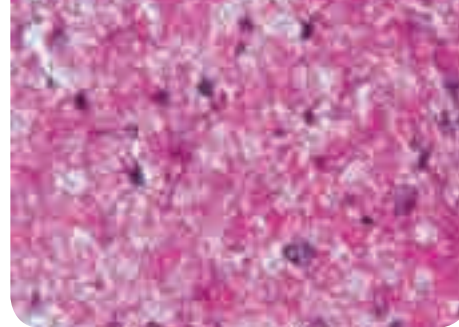


Figura 13.10 Representação esquemática de parte do sistema nervoso humano, mostrando alguns dos seus constituintes: encéfalo, medula espinal, nervos e gânglios nervosos. (Imagem sem escala, cores-fantasia.)

O tecido nervoso é composto pelos neurônios e pelos gliócitos, ou células gliais (anteriormente denominadas neuróglia). Em 2005, os pesquisadores Suzana Herculano-Houzel e Roberto Lent, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), derrubaram o mito de que o sistema nervoso contém 10 vezes mais gliócitos que neurônios. Eles demonstraram que o cérebro humano tem 86 bilhões de neurônios e número equivalente de células gliais. (Fig. 13.11)



KENNETH EDWARD/BIOGRAFX/PHOTO RESEARCHERS/LATINSTOCK

Figura 13.11 Micrografia de um corte de tecido do cérebro humano ao microscópio óptico. As células ramificadas, coradas mais intensamente, são astrócitos, um tipo de célula glial que nutre e protege os neurônios (aumento $\approx 350\times$).

Neurônios

Neurônios são células especializadas na condução de impulsos nervosos. Eles apresentam uma parte mais volumosa, o **corpo celular do neurônio**, com diâmetro variando entre $5\ \mu\text{m}$ e $100\ \mu\text{m}$, onde se concentram o citoplasma e o núcleo celular. Do corpo celular, partem inúmeros prolongamentos citoplasmáticos finos, as **neurofibras**, ou **fibras nervosas**. Em geral, um desses prolongamentos, o **axônio**, é muito mais longo que os demais, os **dendritos**. Estes conduzem impulsos nervosos em direção ao corpo celular, enquanto o axônio os conduz em sentido inverso (para fora do corpo celular).

Classificação morfológica dos neurônios

De acordo com o número e o arranjo de suas neurofibras, os neurônios podem ser classificados em três tipos básicos: multipolares, bipolares e pseudounipolares. **Neurônios multipolares** apresentam vários dendritos, geralmente ramificados; constituem o tipo mais comum de neurônio e estão presentes no encéfalo e na medula espinal. **Neurônios bipolares** apresentam um só dendrito, localizado em posição diametralmente oposta ao axônio; são os principais responsáveis pela transmissão das informações sensoriais (olfato, visão, audição e equilíbrio) ao sistema nervoso central. **Neurônios pseudounipolares** (ou falsamente unipolares) apresentam uma só neurofibra, às vezes chamada dendraxônio, que se divide em duas, uma correspondente ao dendrito e outra ao axônio. Nesses neurônios, o impulso gerado no dendrito pode seguir diretamente para o axônio sem passar pelo corpo celular. Neurônios pseudounipolares estão presentes em certos gânglios nervosos e levam informações de sensores da pele ao sistema nervoso central. (Fig. 13.12)

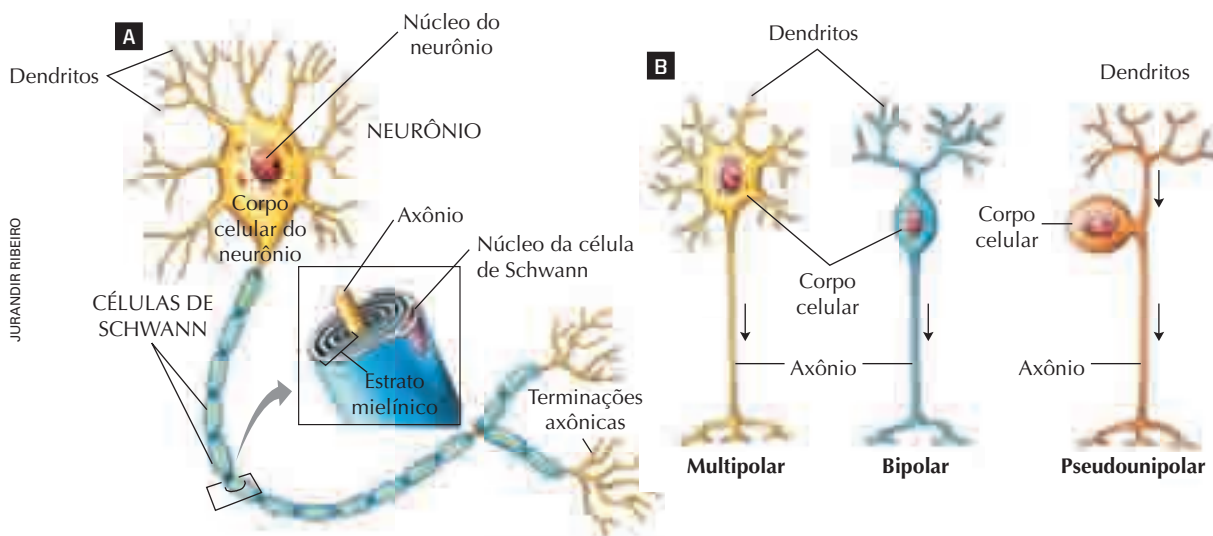


Figura 13.12 A. Representação esquemática de um neurônio mostrando suas partes principais. O axônio apresenta-se recoberto por um envoltório de células de Schwann, constituintes do estrato mielinico (bainha de mielina). **B.** Tipos de neurônio (as setas indicam o sentido do impulso nervoso). [Imagens sem escala, cores-fantasia.]

Classificação fisiológica dos neurônios

Quanto à sua função geral, os neurônios podem ser classificados em sensitivos, motores e associativos. **Neurônios sensitivos**, também chamados de sensoriais ou aferentes, são os que conduzem impulsos nervosos de órgãos dos sentidos e de células sensoriais para o sistema nervoso central. **Neurônios motores**, ou eferentes, são os que conduzem impulsos do sistema nervoso central para os órgãos que efetuam a resposta (efetores, ou órgãos efetadores), geralmente músculos ou glândulas. **Neurônios associativos**, ou interneurônios, localizam-se no encéfalo e na medula espinal e fazem a conexão entre diversos tipos de neurônios.

Um nervo pode conter: a) apenas neurofibras de neurônios sensitivos, sendo chamado de **nervo sensitivo**; b) apenas neurofibras de neurônios motores, sendo chamado de **nervo motor**; c) neurofibras tanto de neurônios sensitivos como de neurônios motores, sendo chamado de **nervo misto**. Neste último, neurofibras sensitivas conduzem impulsos das diversas partes do corpo para o sistema nervoso central, e neurofibras motoras conduzem impulsos nervosos em sentido inverso.

Os neurônios são organizados em circuitos neurais, arranjados de maneira que o axônio de um neurônio do circuito forma junções com o dendrito de outro neurônio.

Em certas respostas rápidas denominadas ações reflexas, como as que ocorrem quando tocamos sem querer um objeto muito quente, o neurônio sensitivo responde ao calor, transmitindo impulsos nervosos a um neurônio associativo localizado na medula espinal; este retransmite a informação ao neurônio motor, que estimula os músculos do braço a reagir afastando rapidamente a mão do objeto quente. Além de estimular os neurônios motores responsáveis pela ação, o neurônio associativo também estimula neurônios que conduzem impulsos ao encéfalo, permitindo-nos tomar consciência do ocorrido. (Fig. 13.13)

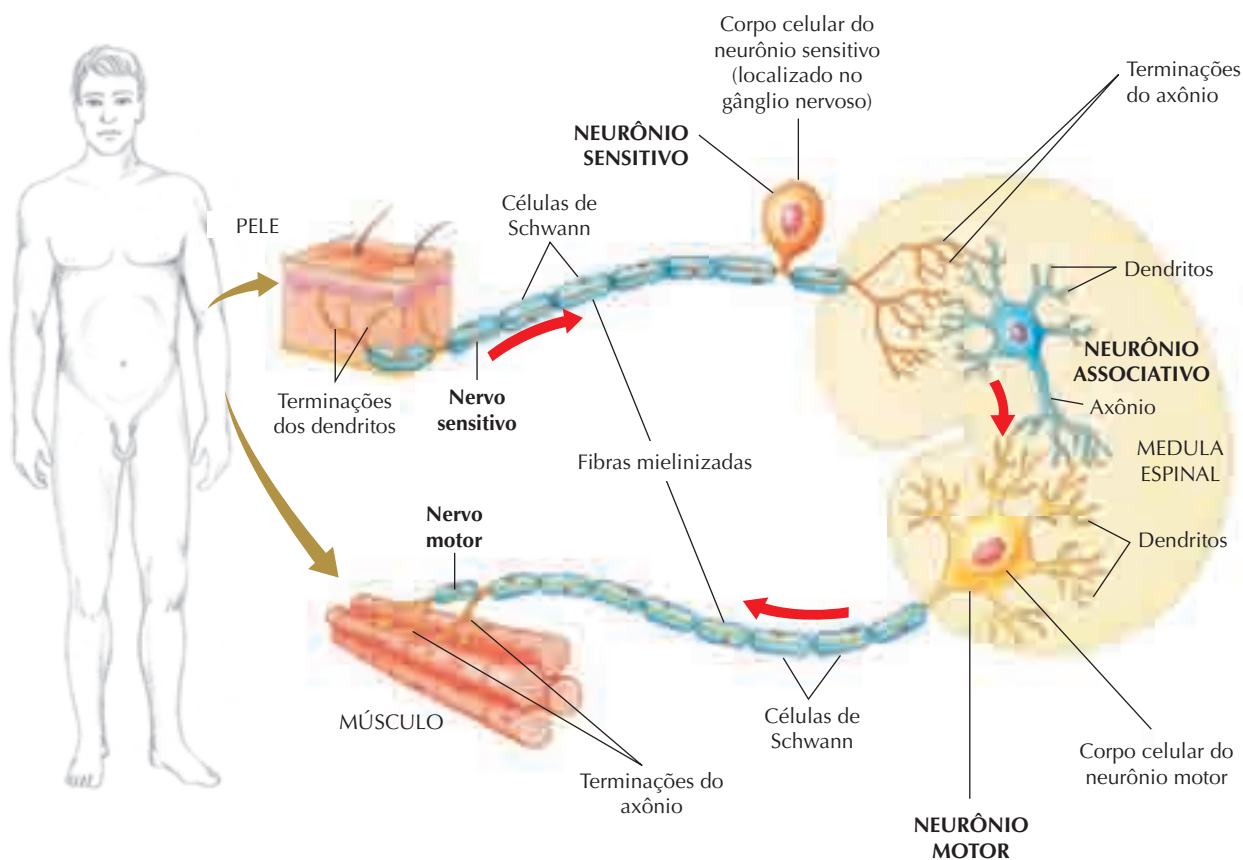


Figura 13.13 Representação esquemática de um arco reflexo. Certas respostas reflexas podem envolver três tipos de neurônio: sensitivo, associativo e motor. Note que o neurônio sensitivo é do tipo pseudounipolar, enquanto os neurônios associativo e motor são multipolares. As setas vermelhas indicam o sentido de transmissão do impulso nervoso. [Imagens sem escala, cores-fantasia.]

Localização dos neurônios no SN

A maioria dos corpos celulares dos neurônios localiza-se no encéfalo e na medula espinal. Os poucos corpos celulares de neurônios presentes fora do sistema nervoso central ficam agrupados em pontos específicos de certos nervos, formando os **gânglios nervosos**.

As neurofibras estão geralmente agrupadas em feixes. Quando esses feixes estão no interior do sistema nervoso central, são chamados de **tratos nervosos**. Fora do encéfalo e da medula espinal, os feixes de neurofibras, envolvidos por tecido conjuntivo fibroso, constituem os **nervos**, que atingem todas as partes do corpo e são responsáveis por sua comunicação com o sistema nervoso central.

Substância cinzenta e substância branca

Observando um corte de encéfalo humano a olho nu, pode-se perceber nitidamente uma camada externa de cor acinzentada, com espessura entre 1 cm e 2 cm, e uma região mais interna esbranquiçada. Na camada acinzentada mais externa, concentram-se os corpos celulares dos neurônios encefálicos e certos tipos de gliócitos, formando a chamada **substância cinzenta**. A porção interna do encéfalo, de cor esbranquiçada e, por isso, denominada **substância branca**, é constituída principalmente por neurofibras revestidas por envoltórios mielínicos de gliócitos, como veremos mais adiante.

Na medula espinal, as disposições da substância cinzenta e da substância branca invertem-se: a substância cinzenta se situa internamente à medula e a substância branca se situa externamente. (Fig. 13.14)

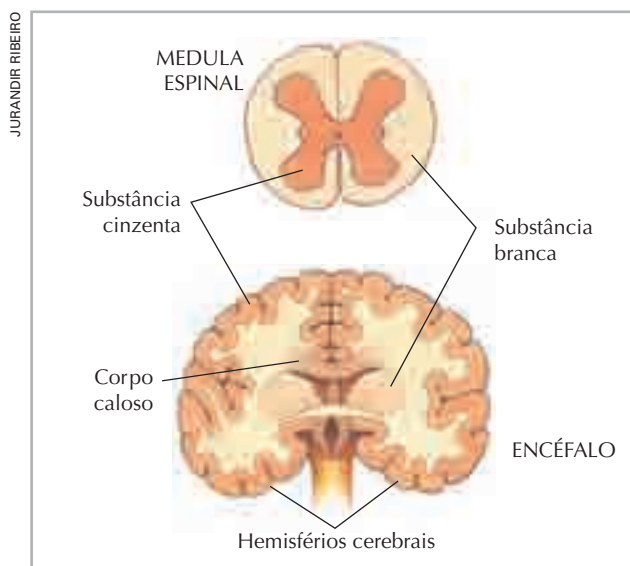


Figura 13.14 Representação esquemática do encéfalo humano, em corte frontal, e da medula espinal, em corte transversal, mostrando a disposição das substâncias cinzenta e branca. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)

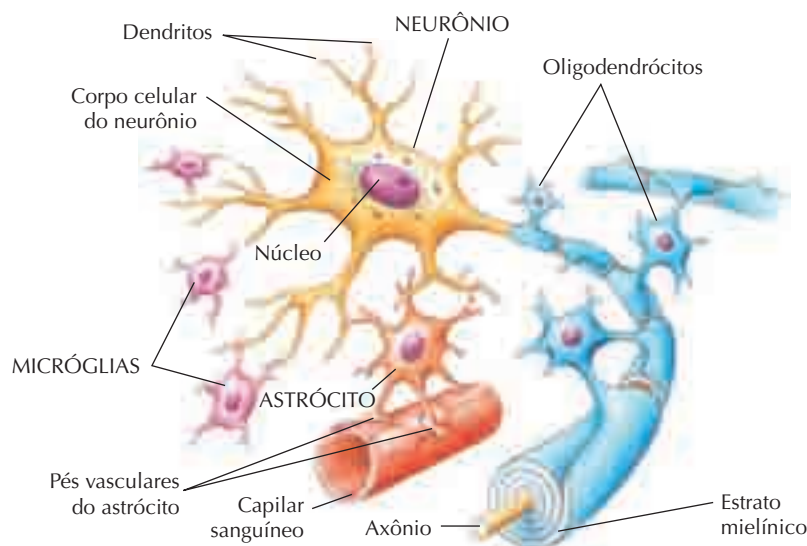
Gliócitos

Gliócitos ou **células gliais** (anteriormente denominadas **neuróglia**s) são componentes do tecido nervoso cuja função é envolver, proteger e nutrir os neurônios. O termo glia, em grego, significa cola, em alusão ao fato de essas células darem sustentação física ao sistema nervoso, mantendo os neurônios unidos.

Estudos recentes têm mostrado a grande importância dos gliócitos; acredita-se, por exemplo, que sem essas células os neurônios não conseguiriam estabelecer conexões uns com os outros. Nos primeiros anos de vida, o tamanho do encéfalo aumenta pela multiplicação dos gliócitos, já que o número de neurônios permanece o mesmo desde o nascimento. Há quem correlacione esse aumento de gliócitos durante a infância com o grande aumento do número de conexões (sinapses) entre neurônios, fundamental ao desenvolvimento físico e mental do ser humano.

Existem dois grupos principais de células da glia, classificados de acordo com a origem: macróglia e micróglia. As macróglia originam-se da placa neural do embrião, paralelamente aos neurônios, e constituem a maioria dos gliócitos; elas são de três tipos principais: astrócitos, oligodendrócitos (no sistema nervoso central) e células da neurilema (ou células de Schwann, no sistema nervoso periférico). As micróglia são células bem menores e originam-se do tecido hematopoietico. (Fig. 13.15)

Figura 13.15 Representação esquemática dos principais gliócitos presentes no sistema nervoso central e sua relação com o neurônio. (Imagem sem escala, cores-fantasia.)



JURANDIR RIBEIRO

Astrócitos

Astrócitos são os gliócitos de maior tamanho e apresentam grande número de prolongamentos citoplasmáticos. Alguns desses prolongamentos ligam-se a neurônios, enquanto outros ligam-se a capilares sanguíneos por meio de uma porção terminal expandida, denominada pé vascular. Estudos recentes indicam que as substâncias vindas do sangue para nutrir os neurônios passam primeiro pelos astrócitos. Além de estabelecer essa ponte nutritiva entre o sangue e os neurônios, os astrócitos dão sustentação física ao tecido nervoso e participam da recuperação de lesões. Se eventualmente ocorre morte de neurônios, os espaços que eles ocupavam são preenchidos por um tecido de cicatrização resultante da multiplicação de astrócitos.

Oligodendrócitos

Oligodendrócitos, presentes no sistema nervoso central, são células menores que os astrócitos e dotadas de menor quantidade de prolongamentos celulares. Certos prolongamentos especiais dos oligodendrócitos enrolam-se sobre neurofibras do sistema nervoso central, envolvendo-as com camadas concêntricas de membrana plasmática. Esse envoltório membranoso constitui o **estrato mielínico** ou **bainha de mielina**, que protege o neurônio e o ajuda a desempenhar suas funções.

Células de Schwann

Células de Schwann ou células da neurilema são gliócitos presentes no sistema nervoso periférico, onde desempenham papel semelhante ao dos oligodendrócitos no sistema nervoso central. Seus prolongamentos enrolam-se sobre as neurofibras que constituem os nervos, formando ao redor delas estratos mielínicos protetores (bainha de mielina) que auxiliam o funcionamento dos neurônios.

Micróglia

Micróglia são células pequenas, com poucos prolongamentos e geralmente muito ramificadas, cuja função é fagocitar detritos e restos celulares presentes no tecido nervoso. Elas podem ser consideradas um tipo especializado de macrófago.

Neurofibras mielinizadas e não mielinizadas

As neurofibras, dependendo de sua função, podem ou não apresentar revestimento mielínico (bainha de mielina); no primeiro caso, elas são chamadas de neurofibras mielinizadas e, no segundo, de neurofibras não mielinizadas. O estrato mielínico, como dissemos, é um conjunto de camadas concêntricas de membrana de células gliais que envolve grande parte das neurofibras de nosso corpo. No sistema nervoso central, os estratos mielínicos se originam de oligodendrócitos; no sistema nervoso periférico, eles são produzidos pelas células de Schwann.

As membranas que constituem o estrato mielínico, assim como as demais membranas celulares, são formadas basicamente por uma bicamada de fosfolipídios. No entanto, as membranas do estrato mielínico apresentam alguns componentes específicos, como certos proteolipídios e a proteína básica da mielina, que participam da união entre as camadas de membrana enroladas, dando consistência ao envoltório. Este atua como um isolante e evita que o impulso se propague entre neurofibras adjacentes, além de contribuir para aumentar a velocidade de propagação dos impulsos nervosos pelo neurônio.

Ao longo de seu comprimento, uma neurofibra mielinizada apresenta interrupções no estrato mielínico, os **nós neurofibrosos**, ou nódulos de Ranvier, que correspondem aos pontos de separação entre células gliais vizinhas que formam o estrato mielínico.

Nas neurofibras não mielinizadas, o impulso propaga-se continuamente ao longo da membrana do neurônio. Nas neurofibras mielinizadas, de maior calibre e isoladas pela bainha de mielina, a propagação dos impulsos nervosos é muito mais rápida que nas fibras não mielinizadas e tem característica saltatória, passando de um nó neurofibroso para o seguinte, devido à presença da bainha de mielina. Vejamos um exemplo da velocidade de propagação do impulso nervoso em nosso corpo.

No organismo humano, os corpos celulares dos neurônios motores que inervam as pernas localizam-se na medula espinal e seus axônios têm cerca de 1 metro de comprimento. Pelo fato de esses axônios serem revestidos pelo estrato mielínico, o impulso nervoso se propaga neles com grande rapidez, levando apenas cerca de 0,01 segundo para ir dos corpos celulares da medula aos músculos da perna e estimular sua contração. Se esses axônios não fossem mielinizados, a velocidade de propagação do impulso nervoso seria de cerca de 1 m/s e os estímulos enviados pela medula levariam cerca de 1 segundo, ou seja, 100 vezes mais tempo para chegar aos músculos. Nesse caso, a coordenação de movimentos, como os necessários para correr, seria impossível. (Fig. 13.16)

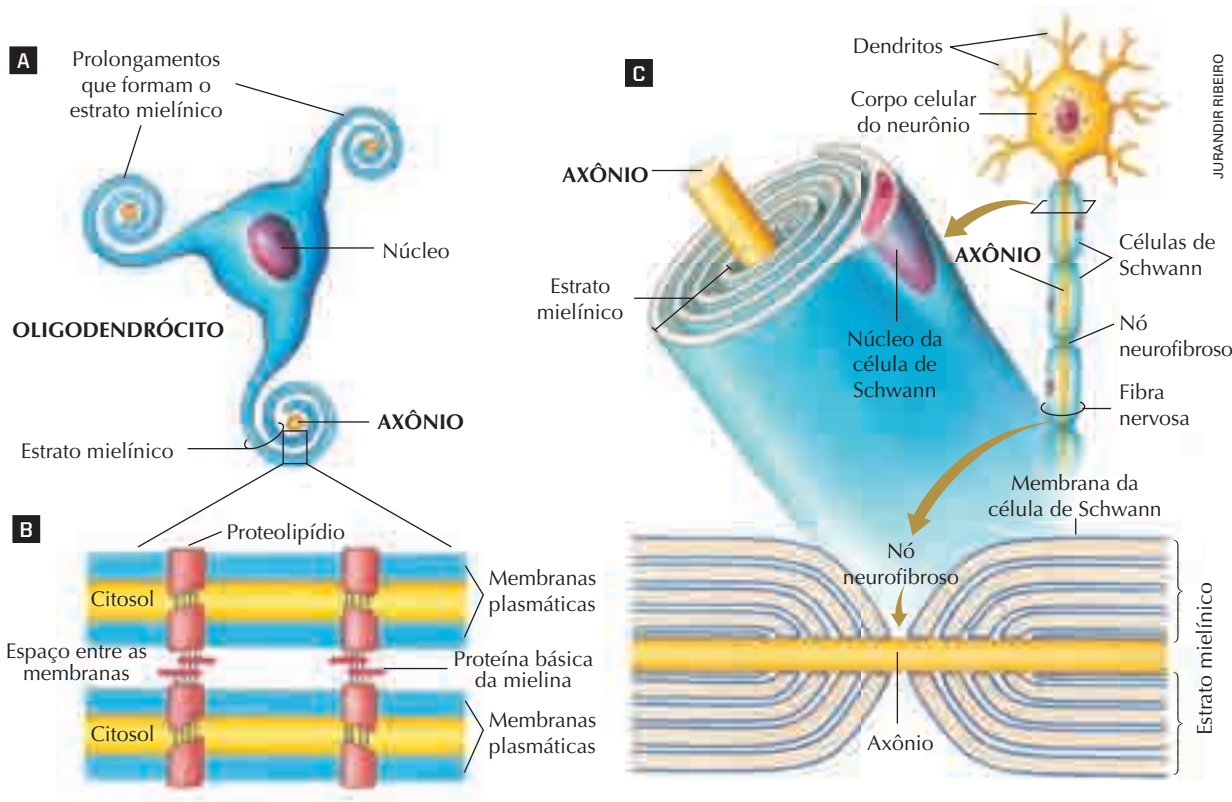


Figura 13.16 **A.** Representação esquemática de um oligodendrócito associado a três neurônios (axônios cortados transversalmente). **B.** Detalhe do estrato mielínico formado pelos astrócitos, presentes na substância branca do encéfalo e da medula espinal. **C.** Neurônio envolvido pelas células de Schwann, que só ocorrem no sistema nervoso periférico. Observe o nó neurofibroso (nódulo de Ranvier) entre as células de Schwann. Na parte inferior da imagem, corte longitudinal do neurônio com estrato mielínico e nó neurofibroso. [Imagens sem escala, cores-fantasia.]



Cada neurofibra, mielinizada ou não, juntamente com os gliócitos que a envolvem, é revestida por um delicado envoltório de tecido conjuntivo, denominado **endoneuro**. Um conjunto de neurofibras, cada uma com seu endoneuro, é revestido, por sua vez, por outro envoltório de tecido conjuntivo, o **perineuro**. Finalmente, diversos conjuntos de neurofibras, cada um deles envolto pelo perineuro, podem se reunir para formar nervos relativamente grossos, os quais são revestidos por outra camada de tecido conjuntivo, o **epineuro**. Esses envoltórios de tecido conjuntivo contêm, além de filamentos de proteína, vasos sanguíneos, que alimentam e oxigenam as neurofibras.

Na doença conhecida como **esclerose múltipla**, ocorre degeneração gradual do estrato mielínico, com perda progressiva da coordenação nervosa. As causas da esclerose múltipla ainda não são totalmente conhecidas, mas acredita-se que seja uma doença autoimune, isto é, em que as defesas corporais se voltam contra o próprio organismo, no caso, atacando e destruindo o estrato mielínico das neurofibras. A esclerose múltipla começa a manifestar-se, em geral, por volta dos 25 a 30 anos de idade, sendo mais frequente nas mulheres. Os primeiros sintomas são alterações de sensibilidade e fraqueza muscular; a pessoa pode perder progressivamente a capacidade de andar e apresentar distúrbios emocionais, incontinência urinária, quedas bruscas da pressão arterial, sudorese intensa etc. Quando o nervo óptico é atingido, pode ocorrer diplopia (visão dupla).

Sinapses nervosas

O sistema nervoso humano é formado por uma complexa rede de neurônios interligados. A estrutura altamente elaborada dessa rede nervosa garante a comunicação eficiente entre todas as partes do corpo e o sistema nervoso central.

Ao atingir a extremidade de um axônio, o impulso nervoso deve ser transmitido a uma outra célula, em geral, a um outro neurônio. A região de proximidade entre a extremidade de um axônio e a célula vizinha, por onde se dá a transmissão do impulso nervoso, é chamada **sinapse nervosa** (do grego *synapsis*, ação de juntar).

Em nosso sistema nervoso central, um único neurônio faz entre 1.000 e 10.000 sinapses com mais de 1.000 outros neurônios. As sinapses nervosas geralmente ocorrem entre o axônio de um neurônio e o dendrito de outro, mas também pode haver sinapses entre um axônio e um corpo celular, entre dois axônios, ou entre um axônio e uma célula muscular, nesse caso chamada **sinapse neuromuscular**.

Há dois tipos básicos de sinapse nervosa: sinapse elétrica e sinapse química.

Sinapse elétrica

Sinapses elétricas entre neurônios são raras; nos vertebrados, elas ocorrem em regiões do sistema nervoso central relacionadas com a produção de movimentos rápidos e repetitivos. Nesse tipo de sinapse, as membranas das células que se comunicam unem-se por meio de junções tipo *gap*, que permitem a transmissão do potencial de ação diretamente de uma célula para outra.

Sinapses elétricas ocorrem também entre células da musculatura não estriada e entre células da musculatura cardíaca. Nesses casos, o impulso elétrico recebido por uma célula muscular pode se propagar rapidamente para as demais células musculares, ocasionando a contração do músculo. No coração, por exemplo, o estímulo gerado no nó sinoatrial é transmitido rapidamente de uma célula para outra através de sinapses elétricas, permitindo a contração sincrônica do órgão no batimento cardíaco.

Sinapse química

O tipo mais comum de sinapse nervosa, a **sinapse química**, caracteriza-se pela ausência de contato físico entre os neurônios nos locais de passagem do estímulo nervoso. Um espaço estreito, com cerca de 10 nm a 50 nm, denominado espaço sináptico, separa a extremidade axônica de um neurônio e a superfície da célula com que ele faz sinapse. (Fig. 13.17)

As extremidades axônicas são dilatadas e seu citoplasma apresenta bolsas (vesículas) membranosas repletas de substâncias denominadas **neurotransmissores**, ou mediadores químicos. Quando o impulso nervoso chega a essa região, algumas das bolsas se fundem à membrana plasmática, liberando os neurotransmissores no espaço sináptico.

Os neurotransmissores liberados no espaço sináptico por exocitose ligam-se a proteínas receptoras da membrana da célula pós-sináptica. Se esta for outro neurônio, poderá ser originado um novo impulso nervoso, que se propagará até a sinapse seguinte. Os neurotransmissores liberados pelo neurônio são rapidamente destruídos por enzimas, o que evita que eles continuem a estimular a célula pós-sináptica além do necessário.

Os cientistas já identificaram mais de dez substâncias que atuam como neurotransmissores; dentre elas, destacam-se a acetilcolina, a adrenalina (ou epinefrina), a noradrenalina (ou norepinefrina), a dopamina e a serotonina.

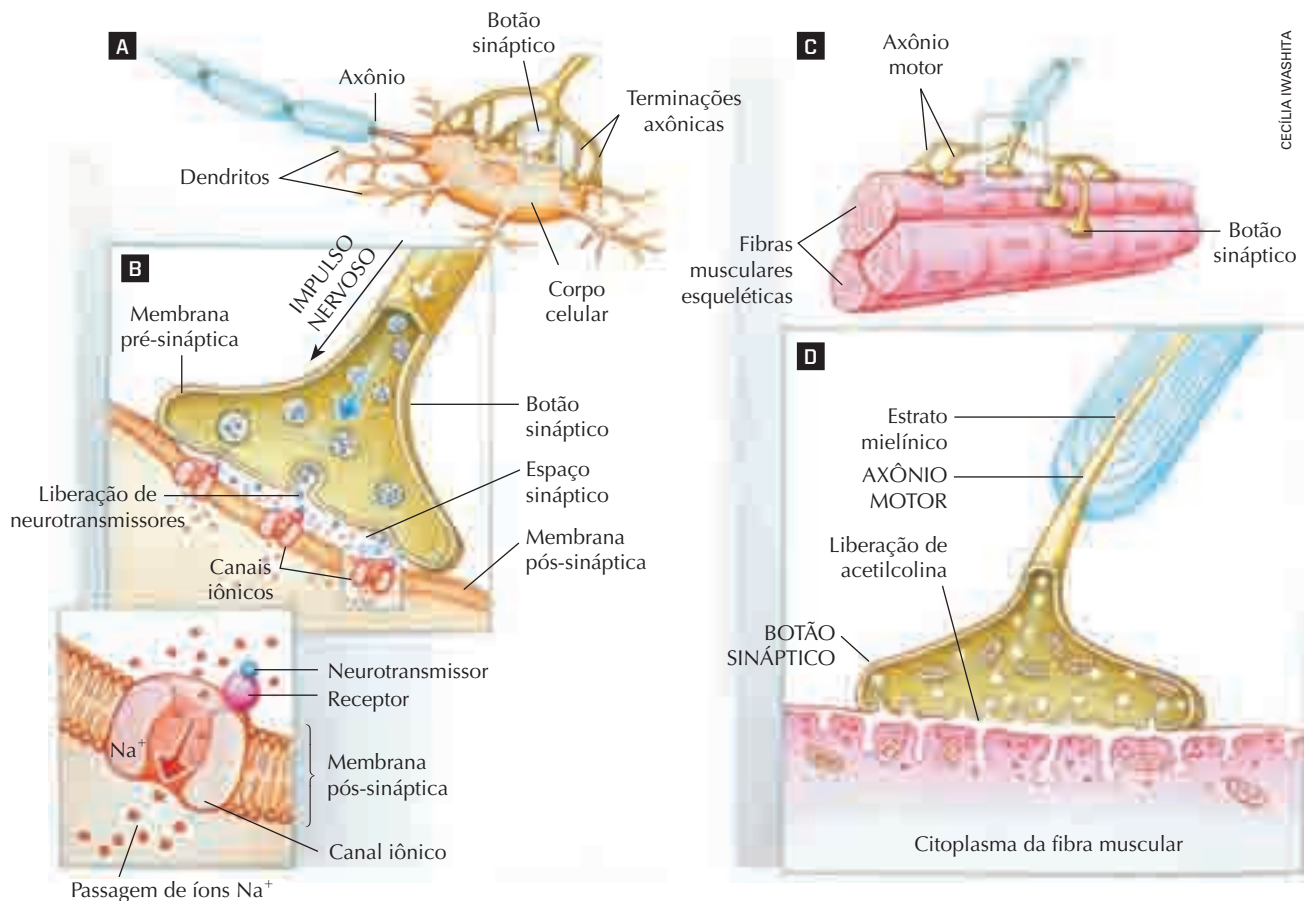


Figura 13.17 A. Representação esquemática de sinapses entre as terminações axônicas de um neurônio e o corpo celular de outro. B. Extremidade axônica (botão sináptico) em corte; os neurotransmissores ficam armazenados em bolsas membranosas (vesículas). C. Terminações axônicas de um nervo fazem sinapse com fibras musculares esqueléticas. D. Sinapse neuromuscular em corte mostrando o botão sináptico e a superfície da fibra muscular. [Imagens sem escala, cores-fantasia.]

ATIVIDADES

Escreva as respostas no caderno

QUESTÕES PARA PENSAR E DISCUTIR

Questões objetivas

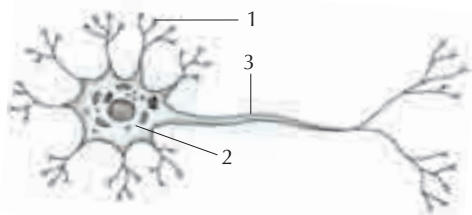
- As estrias transversais presentes nas fibras musculares estriadas esqueléticas e cardíacas resultam da disposição
 - lado a lado, das terminações nervosas que inervam cada célula muscular.
 - lado a lado, das diversas células que formam cada fibra muscular.

- ordenada de proteínas ao redor da membrana de cada célula muscular.
 - ordenada de proteínas no interior de cada célula muscular.
- Os principais componentes da célula muscular, diretamente envolvidos na sua contração, são as proteínas
 - actina e miosina.
 - actina e queratina.
 - miosina e melanina.
 - miosina e queratina.

3. A diminuição do tamanho do miômero da fibra muscular esquelética resulta de
 - a) estreitamento das linhas Z, pela saída de actina da miofibrila.
 - b) estreitamento da zona H, devido ao deslizamento da actina sobre a miosina.
 - c) aumento das bandas I e consequente redução das linhas Z e da zona H.
 - d) aumento da zona H e redução das bandas I, devido à saída de miosina da miofibrila.
4. Qual das alternativas associa corretamente o sistema nervoso central (SNC) e o sistema nervoso periférico (SNP) aos respectivos componentes (relacionados na primeira linha)?

	Encéfalo	Gânglios nervosos	Medula espinal	Nervos
a)	SNC	SNC	SNC	SNP
b)	SNC	SNP	SNC	SNC
c)	SNC	SNP	SNC	SNP
d)	SNP	SNC	SNP	SNC

5. A célula responsável pela condução dos impulsos nervosos no corpo é o
 - a) gliócito.
 - b) axônio.
 - c) dendrito.
 - d) neurônio.
6. Considerando que a ilustração abaixo representa um neurônio típico, as setas 1, 2 e 3 indicam quais partes da célula nervosa? Responda analisando o significado dos números no quadro.



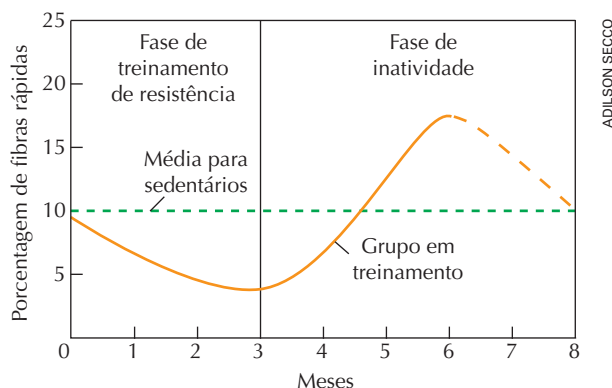
	1	2	3
a)	axônio	gânglio nervoso	dendrito
b)	axônio	corpo celular	dendrito
c)	dendrito	gânglio nervoso	axônio
d)	dendrito	corpo celular	axônio

7. Os principais componentes da substância cinzenta e da substância branca do sistema nervoso central são, respectivamente,
 - a) corpos celulares e neurofibras.
 - b) gânglios nervosos e neurofibras.
 - c) neurofibras e corpos celulares.
 - d) neurofibras e gânglios nervosos.
8. Qual das alternativas apresenta o sentido correto de propagação do impulso nervoso em um neurônio?
 - a) Axônio → corpo celular → dendrito.
 - b) Corpo celular → dendrito → axônio.
 - c) Dendrito → corpo celular → axônio.
 - d) Dendrito → axônio → corpo celular.

9. Qual das afirmações a seguir, referentes ao estrato mielínico (bainha de mielina), é correta?
 - a) Envolve neurofibras, protegendo-os e aumentando a velocidade de propagação do impulso nervoso.
 - b) Envolve o encéfalo e a medula espinal, protegendo-os contra traumas.
 - c) Reveste os gânglios nervosos, isolando-os do sistema nervoso central.
 - d) Une a extremidade dos axônios aos dendritos, permitindo a passagem do impulso nervoso através das sinapses.
10. Os neurotransmissores são liberados na sinapse quando um impulso nervoso
 - a) chega à extremidade do axônio.
 - b) chega ao corpo celular do neurônio.
 - c) se propaga pelo dendrito.
 - d) se propaga pela célula muscular.
11. Qual dos eventos a seguir **não** ocorre durante o processo de transmissão do impulso nervoso na região sináptica?
 - a) Liberação de neurotransmissores contidos nas bolsas (vesículas) localizadas na extremidade do axônio pré-sináptico.
 - b) Difusão de neurotransmissores através do espaço sináptico.
 - c) Penetração e difusão dos neurotransmissores no citoplasma da célula pós-sináptica.
 - d) Destruição dos neurotransmissores após a geração de um novo impulso na célula pós-sináptica.

Questões discursivas

12. Em um experimento de fisiologia muscular, um grupo de homens de hábitos sedentários submeteu-se a um programa de treinamento físico para desenvolver resistência muscular. De tempos em tempos, foram retiradas, por biópsia, pequenas amostras dos músculos de suas pernas. Os resultados, apresentados no gráfico a seguir, mostram que houve, durante o treinamento, redução acentuada de um dos tipos de miosina rápida das fibras musculares. Quando o treinamento foi interrompido, a quantidade de miosina rápida se tornou maior que a existente no início do experimento, chegando praticamente a dobrar por volta do terceiro mês de descanso. Utilize essas informações, mostradas no gráfico, para responder às questões propostas.



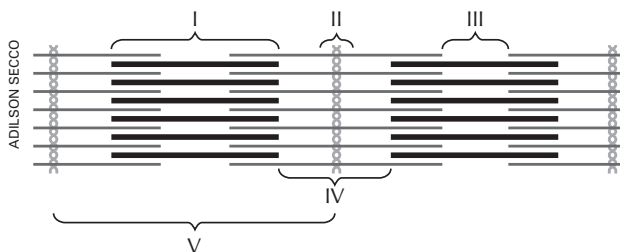
- a) Um atleta especialista em corrida de 100 metros rasos precisa ter o máximo de “explosão” muscular no curto período (cerca de 10 segundos) em que dura a corrida. Que tipo de miosina esse atleta precisaria apresentar nos músculos para obter alto desempenho em seu esporte?
- b) Imagine que você é o(a) treinador(a) desse atleta. Como você organizaria um calendário de treinamentos de maneira a prepará-lo para uma competição importante que ocorrerá em setembro? Quando iniciaria os treinamentos de resistência? Seria melhor treinar resistência até o dia da competição ou descansar desse tipo de treino antes da corrida?

13. Um impulso nervoso, ao chegar à extremidade de um axônio na região de uma sinapse neuromuscular, induz a liberação da acetilcolina, um neurotransmissor que desencadeia um potencial de ação na fibra muscular, provocando sua contração. Índios da América do Sul envenenam suas flechas com a resina de plantas que contém o curare, substância capaz de se combinar de modo estável com os receptores de acetilcolina das células musculares. Com base nessas informações, proponha um mecanismo plausível para explicar como a injeção de curare paralisa e mata um animal.

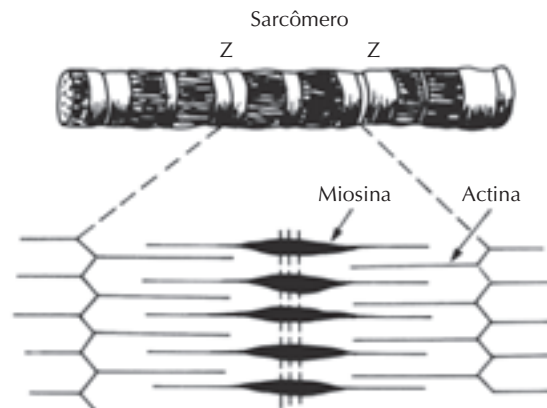
VESTIBULARES PELO BRASIL

Questões objetivas

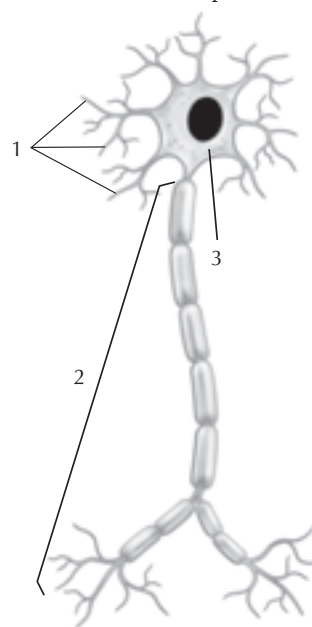
1. (UFV-MG) Considerando o esquema dos sarcômeros representados abaixo e suas características durante a contração, determine a afirmativa **incorreta**:



- a) I contém miofilamentos e corresponde à banda A, que não se encurta.
- b) IV contém actina e corresponde a uma banda que se encurta.
- c) II delimita o sarcômero e corresponde às linhas Z, que se aproximam.
- d) III contém miosina e corresponde à banda H, que se estreita.
- e) V contém miofibrilas e corresponde ao sarcômero, que não se encurta.
2. (UFRGS-RS) Na fibra muscular esquelética, as miofibrilas são constituídas por filamentos de actina e miosina, na disposição apresentada no esquema. O que acontece quando ocorre a contração muscular?



- a) Diminuem os filamentos de actina e miosina.
- b) Diminuem os filamentos de miosina.
- c) Diminuem e se espessam os filamentos de miosina.
- d) Os filamentos de actina deslizam entre os de miosina.
- e) A linha Z torna-se mais espessa, englobando os filamentos de actina.
3. (UFMA) A figura abaixo esquematiza um neurônio, célula do tecido nervoso. Sabe-se que, geralmente, a propagação nervosa é unidirecional. Indique o sentido do impulso nervoso, relacionando a estrutura celular ao número correspondente na figura.



- a) 1 — dendrito → 3 — corpo celular → 2 — axônio
- b) 2 — dendrito → 3 — corpo celular → 1 — axônio
- c) 2 — axônio → 3 — corpo celular → 1 — dendrito
- d) 3 — corpo celular → 1 — dendrito → 2 — axônio
- e) 1 — axônio → 3 — dendrito → 2 — corpo celular
4. (Unip-SP) Considere os seguintes elementos do sistema nervoso:
- encéfalo;
 - medula;
 - nervos cranianos;
 - nervos raquidianos.

O sistema nervoso central (SNC) é constituído por

- a) II e III.
- b) III e IV.
- c) I e II.
- d) I e III.
- e) II e IV.

5. (Uniupe-MG) Quando se estuda o tecido nervoso, é frequente que se mencione a célula de Schwann, que vem a ser

- a) um tipo de neurônio sensorial periférico.
- b) um tipo de neurônio existente apenas no sistema nervoso central.
- c) célula que circunda o axônio de determinados neurônios.
- d) as células nervosas dos artrópodes.
- e) os neurônios polidendríticos.

6. (FCC-SP) Considere o seguinte esquema de dois neurônios:

OSVALDO SANCHES SEQUETIN



A sinapse está representada em

- a) I.
- b) II.
- c) III.
- d) IV.
- e) V.

7. (Ufes) A esclerose múltipla é uma doença causada pela perda da bainha de mielina (desmielinização) dos neurônios. Essa alteração dos neurônios tem como consequência

- a) o aumento das expansões da membrana plasmática do axônio, na tentativa de repor a bainha de mielina.
- b) a diminuição do espaço entre os nódulos de Ranvier, dificultando a transmissão dos impulsos nervosos nesses neurônios.
- c) a diminuição da velocidade de propagação dos impulsos nervosos nos neurônios afetados pela doença.
- d) o aumento da produção de neurotransmissores para facilitar a condução do impulso nervoso nos nódulos de Ranvier.
- e) a propagação do impulso nervoso nos dois sentidos da fibra nervosa, causando, assim, um colapso do sistema nervoso.

8. (Fazu-MG) A região de encontro entre os neurônios e entre neurônios e órgãos, onde ocorre a transmissão química de impulsos elétricos, é denominada

- a) desmossomos.
- b) axônio.
- c) neuróglio.
- d) bainha de mielina.
- e) sinapse.

Questões discursivas

9. (Fuvest-SP) A tabela abaixo apresenta algumas características de dois tipos de fibras musculares do corpo humano.

Fibras musculares		
Características	Tipo I	Tipo IIB
Velocidade de contração	Lenta	Rápida
Concentração de enzimas oxidativas	Alta	Baixa
Concentração de enzimas glicolíticas	Baixa	Alta

a) Em suas respectivas provas, um velocista corre 200 metros, com velocidade aproximada de 36 km/h, e um maratonista corre 42 quilômetros, com velocidade aproximada de 18 km/h. Que tipo de fibra muscular se espera encontrar, em maior abundância, nos músculos do corpo de cada um desses atletas?

b) Em que tipo de fibra muscular deve ser observado o maior número de mitocôndrias? Justifique.

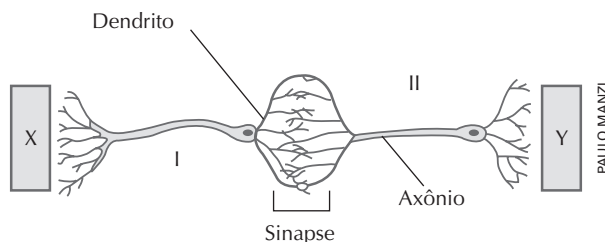
10. (UFRRJ) Um biólogo, ao estudar um determinado tecido de animais vertebrados, fez algumas descrições de suas observações.

É formado por células dotadas de extensos prolongamentos, os quais liberam substâncias químicas que permitem a comunicação entre as células do tecido.

Identifique esse tecido e o tipo de célula à qual se referiu o biólogo, justificando como você chegou a essa conclusão.

11. (Fuvest-SP) Diferencie um neurônio de um nervo.

12. (Fuvest-SP) O esquema representa dois neurônios contíguos (I e II), no corpo de um animal, e sua posição em relação a duas estruturas corporais identificadas por X e Y.



a) Tomando-se as estruturas X e Y como referência, em que sentido se propagam os impulsos nervosos através dos neurônios I e II?

b) Considerando-se que, na sinapse mostrada, não há contato físico entre os dois neurônios, o que permite a transmissão do impulso nervoso entre eles?

c) Explique o mecanismo que garante a transmissão unidirecional do impulso nervoso na sinapse.



Capítulo 14

Reprodução humana

Os conhecimentos básicos sobre sexualidade e reprodução humana são essenciais a qualquer cidadão, haja vista a importância desses assuntos em nossa vida. O avanço das pesquisas sobre reprodução humana tem permitido que muitos casais superem dificuldades biológicas para procriar.

Este capítulo apresenta a anatomia e a fisiologia dos sistemas genitais feminino e masculino na espécie humana, com ênfase na fecundação. Comentamos, também, os princípios de funcionamento de diversos métodos destinados a evitar a gravidez (métodos contraceptivos).

› 14.1 Sistema genital feminino

O sistema genital feminino compõe-se de órgãos externos – pudendo feminino – e de órgãos internos: vagina, útero, tubas uterinas e ovários.

› 14.2 Sistema genital masculino

O sistema genital masculino compõe-se de órgãos externos – o pênis e o escroto – e de órgãos internos: ductos deferentes, glândulas seminais e próstata, entre outros.

› 14.3 Fecundação

Fecundação é a fusão de uma célula gamética feminina — o óvulo — com uma célula gamética masculina — o espermatozoide — tendo como resultado o zigoto.

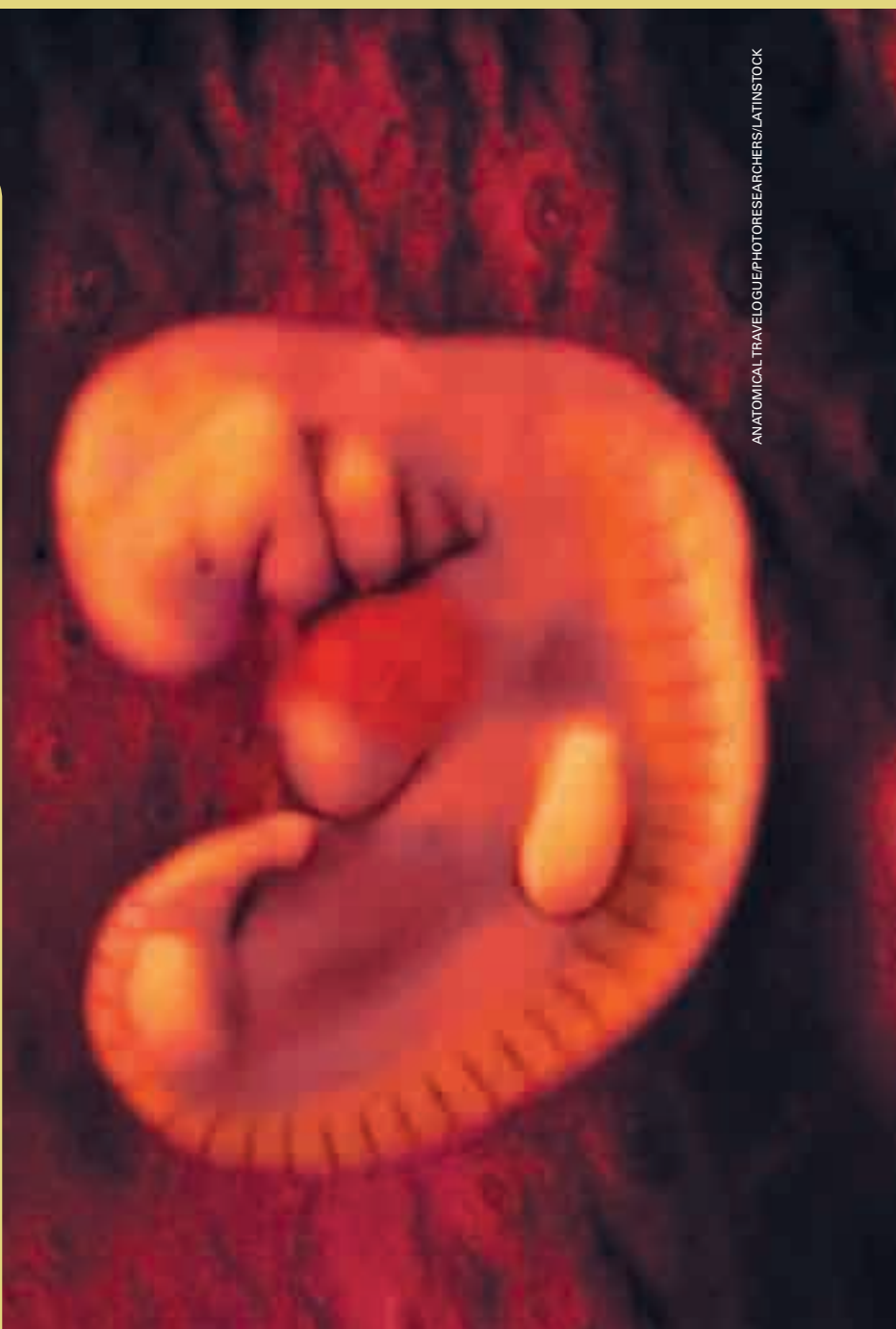


Imagem de um embrião humano na quarta semana do desenvolvimento. Neste estágio, o embrião tem 4 milímetros de comprimento. Entre outras estruturas pode-se ver o coração em formação (em vermelho) e, ao longo do dorso, as divisões transversais do mesoderma (somitos) que irão originar músculos, estruturas esqueléticas e a derme da pele.

ANATOMICAL TRAVEL/GETTY IMAGES/RESEARCHERS/LATINSTOCK

» Habilidade sugerida

► Conhecer os principais órgãos que compõem o sistema genital feminino.

» Conceitos principais

- sistema genital feminino
- vagina
- útero
- endométrio
- ciclo menstrual
- ovário
- óvulo

Sistema genital feminino

1 Pudendo feminino

O **sistema genital feminino** compõe-se de órgãos situados externamente ao corpo da mulher (pudendo feminino) e de órgãos localizados no interior do abdome (vagina, útero, um par de tubas uterinas e um par de ovários).

O **pudendo feminino** (anteriormente chamado de vulva) localiza-se na região baixa do ventre, entre as coxas, sendo constituído pelas estruturas denominadas lábios maiores, lábios menores, clitóris e vestíbulo vaginal. Os **lábios maiores** são duas dobras grossas de pele que se estendem paralelamente desde a região inferior do púbis até as proximidades do ânus. Internamente aos lábios maiores, há duas pregas de pele menores e mais delicadas, os **lábios menores**, que delimitam a entrada da vagina, região denominada **vestíbulo vaginal**.

Na região anterior do pudendo feminino, perto da junção dos lábios menores, localiza-se o **clitóris**, um órgão com cerca de 1 centímetro de comprimento, constituído por tecido erétil, que se enche de sangue e fica intumescido durante a excitação sexual. O clitóris é considerado um órgão homólogo ao pênis, mas, diferentemente deste, não contém a uretra. (Fig. 14.1A)

A uretra das mulheres abre-se como uma pequena fenda no vestíbulo vaginal, entre o clitóris e a abertura da vagina. No vestíbulo, nos lados da abertura vaginal, desembocam os condutos de um par de glândulas (glândulas vestibulares maiores, ou glândulas de Bartholin) produtoras de secreção lubrificante, que facilita a penetração do pênis durante o ato sexual. Nas mulheres virgens, isto é, que nunca tiveram relação sexual vaginal, o orifício da vagina é parcialmente recoberto pelo **himen**, uma membrana mucosa de função ainda desconhecida que, em geral, se rompe no primeiro ato sexual.

2 Vagina e útero

A **vagina** é um tubo de paredes fibromusculares, com cerca de 10 centímetros de comprimento, que vai do pudendo feminino à base do útero, com o qual se comunica. As paredes da vagina dilatam-se durante a excitação sexual e as grandes glândulas vestibulares secretam substâncias com função lubrificante que facilitam a penetração do pênis.

O **útero** é um órgão muscular, oco, de tamanho e forma parecidos com os de uma pera. Em mulheres que nunca engravidaram, ele mede cerca de 7,5 centímetros de comprimento por 5 centímetros de largura. A porção mais afilada do útero, conhecida como **cérvix uterino**, ou colo uterino, é rica em tecido conjuntivo fibroso e tem consistência mais firme que o restante do órgão. A parede uterina, com cerca de 2,5 centímetros de espessura, é constituída por músculos e pode expandir-se muito durante a gravidez. O cérvix uterino projeta-se para o interior da vagina, comunicando-se com ela por meio de uma pequena abertura que, durante o parto, dilata-se e permite a saída do bebê. (Fig. 14.1B)

O interior do útero é revestido pelo **endométrio**, um tecido rico em glândulas, vasos sanguíneos e vasos linfáticos. A partir da puberdade, o endométrio torna-se periodicamente (a cada 28 dias, aproximadamente) mais espesso e mais rico em vasos sanguíneos, preparando o organismo da mulher para uma possível gravidez. Se esta não ocorrer, parte do endométrio que se desenvolveu é eliminada, juntamente com o sangue resultante da degeneração dos vasos sanguíneos, em um processo chamado de **menstruação**. O período entre uma menstruação e outra é denominado **ciclo menstrual**.

A porção superior do útero, mais rombuda que o colo uterino, conecta-se a dois canais, as tubas uterinas, anteriormente denominadas trompas de Falópio, cujas extremidades situam-se próximas dos ovários, as gônadas femininas. (Fig. 14.1C)

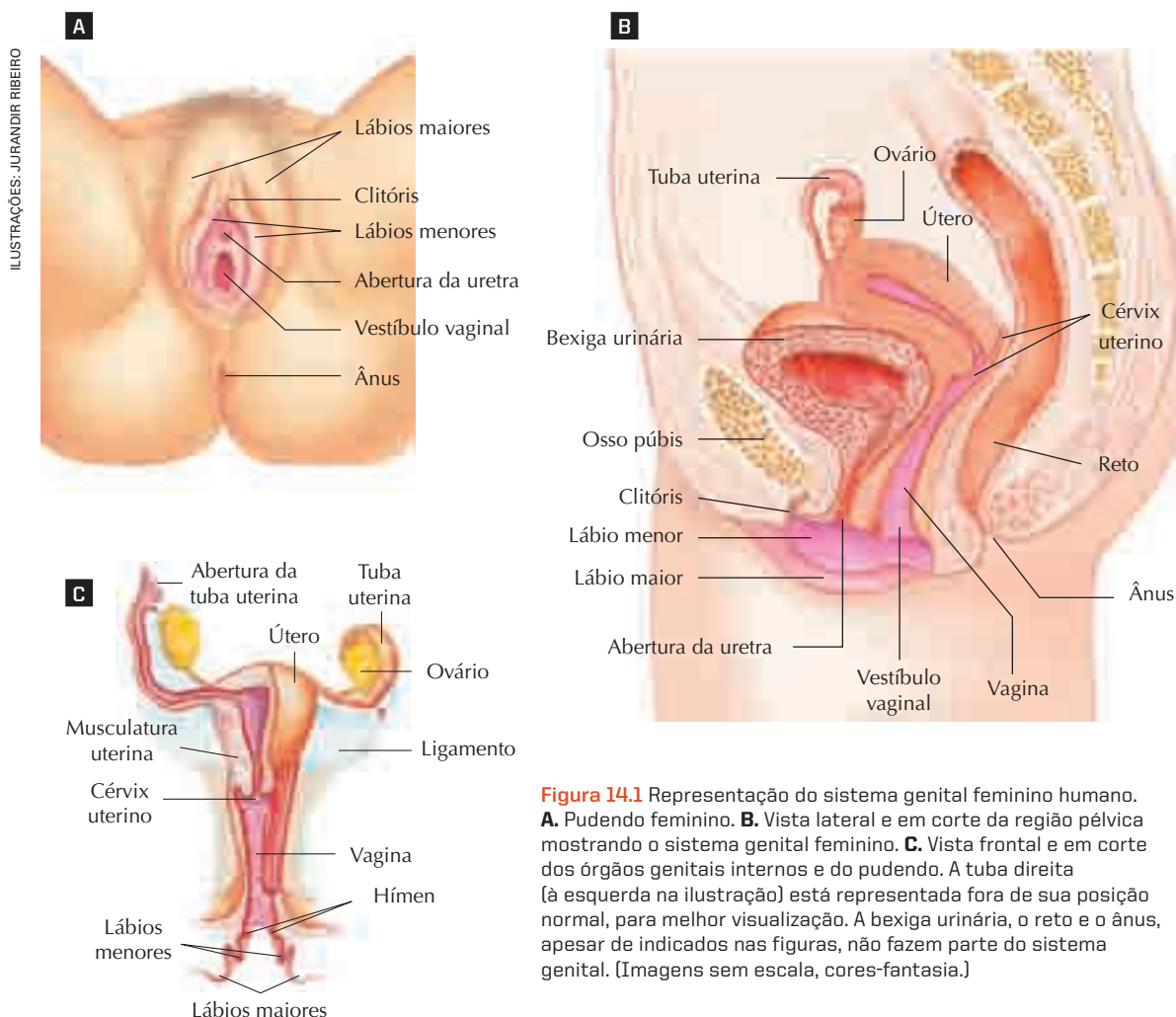


Figura 14.1 Representação do sistema genital feminino humano. **A.** Pudendo feminino. **B.** Vista lateral e em corte da região pélvica mostrando o sistema genital feminino. **C.** Vista frontal e em corte dos órgãos genitais internos e do pudendo. A tuba direita (à esquerda na ilustração) está representada fora de sua posição normal, para melhor visualização. A bexiga urinária, o reto e o ânus, apesar de indicados nas figuras, não fazem parte do sistema genital. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)

3 Tubas uterinas (ovidutos) e ovários

As **tubas uterinas** (ou **ovidutos**) são dois tubos curvos, com cerca de 10 centímetros de comprimento, ligados à parte superior do útero. A extremidade livre de cada tuba uterina é alargada e franjada, situando-se próxima de um dos ovários. O interior das tubas é revestido por células dotadas de cílios, cujos batimentos criam uma corrente de líquido em direção ao útero, que ajuda o deslocamento do óvulo liberado pelo ovário.

Os **ovários** são estruturas ovóides com cerca de 3 centímetros de comprimento, localizados na cavidade abdominal, na região das virilhas. Na porção ovariana mais externa, chamada córtex ovariano, localizam-se as células que dão origem aos óvulos.

Formação dos óvulos: ovulogênese

O processo de formação dos gametas femininos é chamado **ovulogênese** e tem início antes do nascimento da mulher, em torno do terceiro mês de sua vida intrauterina.

As células precursoras dos gametas femininos, as **ovogônias**, multiplicam-se por mitose durante o início da fase fetal. Por volta do terceiro mês de vida, elas param de se dividir, crescem, duplicam os cromossomos e entram em meiose, passando então a ser chamadas de **ovócitos primários**, ou ovócitos I. Estes permanecem estacionados em prófase I da meiose até serem ativados pelo hormônio estimulante do folículo ou FSH (do inglês, **follicle stimulating hormone**) produzido pela hipófise.

Descobertas recentes sugerem que os óvulos talvez não se formem apenas dessa maneira; alguns cientistas acreditam que os gametas femininos podem se originar na vida adulta, diretamente de células-tronco presentes no organismo. Como já vimos, as células-tronco são capazes de produzir diversos tipos de células de nosso corpo, permitindo que ocorram os processos regenerativos.

Cada ovócito primário é envolvido por algumas camadas de células (células foliculares); o conjunto constitui o **folículo ovariano**. Ao nascer, a mulher tem cerca de 500 mil folículos em cada ovário; mais da metade deles, porém, degenera antes da puberdade. Aproximadamente a cada 28 dias, cerca de 20 folículos são estimulados a se desenvolver por ação do FSH e, destes, em geral, apenas um completa o processo de amadurecimento, enquanto os demais regredem. Durante o amadurecimento do folículo, as células foliculares se multiplicam e ocorre acúmulo de líquido intrafolicular. Enquanto isso, o ovócito primário termina a divisão I da meiose e produz duas células de tamanhos diferentes: uma grande, o **ovócito secundário** (ou ovócito II), e outra pequena, o **primeiro glóbulo polar** (ou corpúsculo) **polar**, ou glóbulo polar I. O ovócito secundário inicia imediatamente a segunda divisão da meiose, mas estaciona em metáfase II, enquanto o glóbulo polar geralmente degenera logo depois de se formar.

Ovulação

O acúmulo de líquido no interior do folículo acaba por causar sua ruptura e a liberação do ovócito secundário, fenômeno denominado **ovulação**. O ovócito libertado está revestido por uma malha de glicoproteínas, denominada **zona pelúcida**, e por células foliculares. Na espécie humana, o que chamamos de **óvulo** é, de fato, um ovócito secundário, cuja meiose somente se completará se houver fecundação.

Se o ovócito secundário não é fecundado, ele degenera aproximadamente 24 horas depois de liberado, sem concluir a meiose. Se a fecundação ocorre, porém, o ovócito secundário termina a segunda divisão meiótica e libera o **segundo glóbulo polar** (ou corpúsculo) **polar**, ou glóbulo polar II; este, assim como o primeiro glóbulo polar, geralmente degenera logo depois de se formar. No ovário, as células que constituem a “cicatriz” do folículo rompido desenvolvem-se, formando na superfície ovariana o **corpo-amarelo**, ou corpo-lúteo. Este é uma estrutura amarelada em virtude do acúmulo de um carotenoide amarelo, a luteína. O corpo-amarelo passa a produzir o hormônio progesterona. (Fig. 14.2)

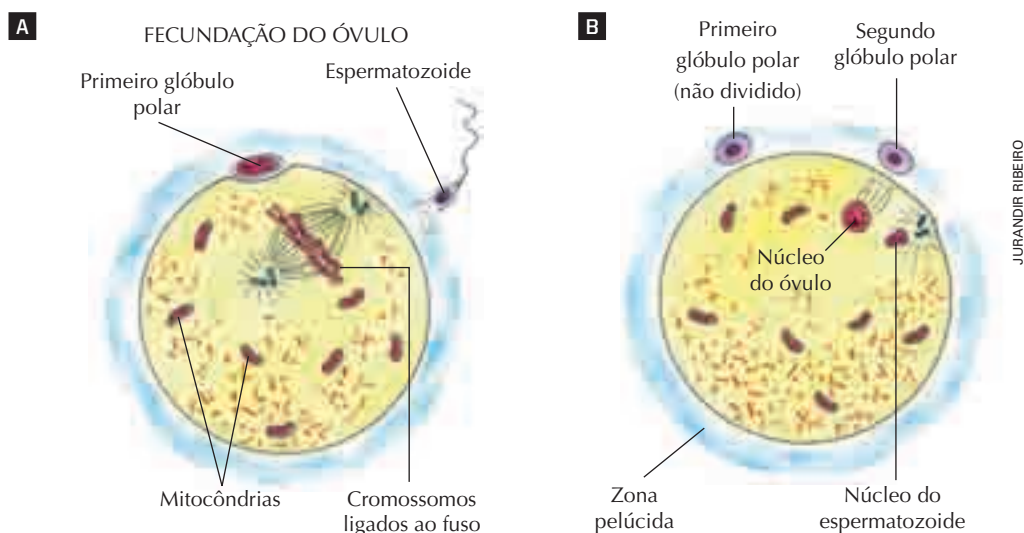


Figura 14.2 **A.** Esquema que representa um ovócito secundário, o óvulo, sendo fecundado por um espermatozoide. Até o momento da fecundação, o óvulo encontrava-se estacionado na metáfase II da meiose. **B.** Esquema que representa o gameta feminino logo após a fecundação. A meiose II encerrou-se e, em breve, o núcleo feminino e o núcleo masculino se unirão, originando o zigoto. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)

Sistema genital masculino

Habilidade sugerida

► Conhecer os principais órgãos que compõem o sistema genital masculino.

Conceitos principais

- sistema genital masculino
- pênis
- testículo
- espermatozoide
- esperma
- ejaculação

O **sistema genital masculino** humano compõe-se de órgãos externos, o pênis e o escroto, e de órgãos internos, entre os quais se destacam os dutos (ou canais) deferentes, as glândulas seminais e a próstata. (Fig. 14.3)

1 Pênis, escroto e testículos

O **pênis** é o órgão copulador masculino. Em seu interior há três massas de tecido erétil: dois corpos cavernosos, localizados lateralmente ao pênis, e o corpo esponjoso, localizado medianamente ao redor da uretra. Esses três corpos intumescem durante a excitação sexual devido ao acúmulo de sangue em seu interior, o que promove a ereção do pênis e possibilita o ato sexual. Próximo à extremidade do pênis, o corpo esponjoso expande-se, formando a **glândula**, que apresenta grande sensibilidade à estimulação sexual e é protegida por uma prega de pele, o prepúcio. Em certos casos, o prepúcio é removido cirurgicamente por meio da circuncisão.

O pênis é percorrido longitudinalmente pela **uretra**, um canal que faz parte dos sistemas urinário e genital, e serve tanto para eliminar urina como esperma.

O **escroto** é uma bolsa de pele situada entre as coxas, na base do pênis; em seu interior alojam-se os testículos, as gônadas masculinas.

Um **testículo** é constituído por milhares de tubos finos e enovelados, os **túbulos seminíferos**, e por camadas envoltórias de tecido conjuntivo.

No interior dos túbulos seminíferos são produzidos os **espermatozoides**, os gametas masculinos. Entre os túbulos seminíferos situam-se as **células intersticiais**, responsáveis pela produção de testosterona, o hormônio sexual masculino.

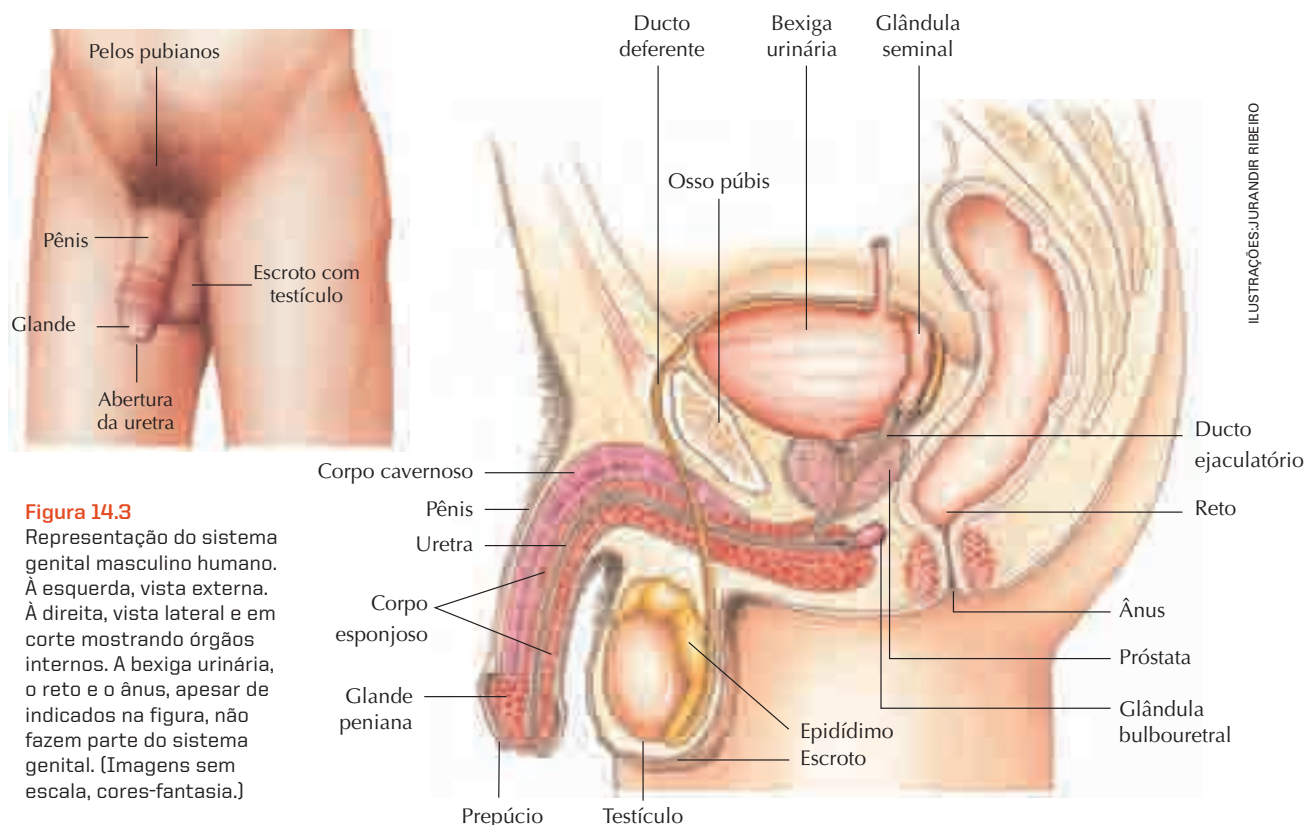


Figura 14.3

Representação do sistema genital masculino humano. À esquerda, vista externa. À direita, vista lateral e em corte mostrando órgãos internos. A bexiga urinária, o reto e o ânus, apesar de indicados na figura, não fazem parte do sistema genital. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)

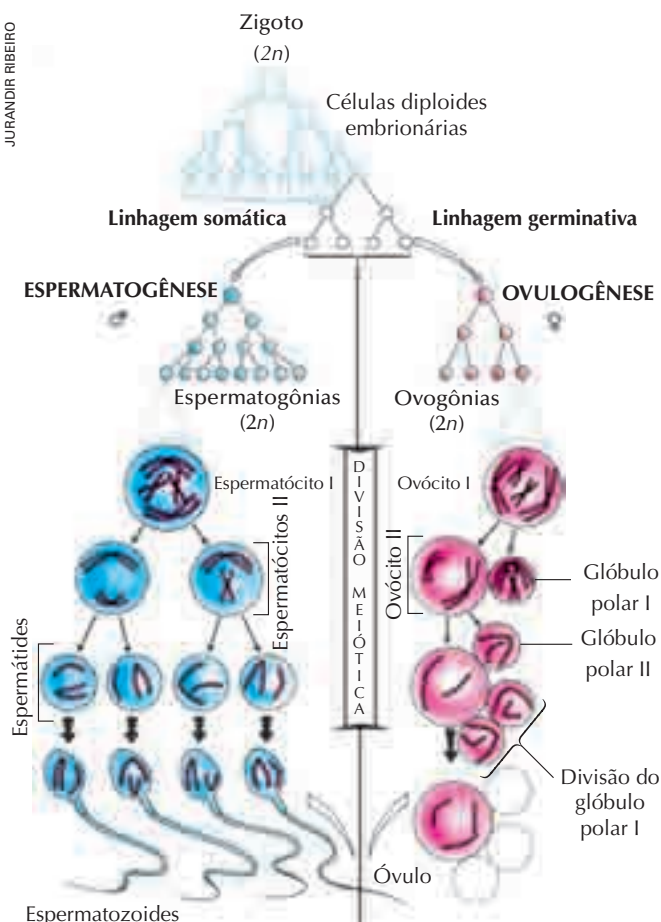


Figura 14.4 Representação esquemática em que se compara a espermatogênese (à esquerda) e a ovogênese (à direita) nos animais vertebrados. [Imagens sem escala, cores-fantasia.]

Formação dos espermatozoides: espermatogênese

Espermatogênese é o processo de formação de espermatozoides a partir de células precursoras, as **espermátogônias**, localizadas nas paredes dos túbulos seminíferos. As espermátogônias multiplicam-se lentamente, por mitose, até a puberdade. A partir daí, elas passam a se multiplicar com intensidade, fenômeno que continuará a ocorrer praticamente até o fim da vida do homem, embora se torne menos intenso em idades avançadas. Enquanto algumas espermátogônias se multiplicam, outras crescem, duplicam seus cromossomos e transformam-se em **espermátócitos primários**, ou espermátócitos I. Cada espermátócito I passa pela primeira divisão meiótica (meiose I) e origina dois **espermátócitos secundários**, ou espermátócitos II. Estes passam pela segunda divisão meiótica (meiose II) e originam, cada um, duas **espermátides**. Cada espermátide passa, então, por um processo denominado espermiogênese, no qual se transforma em um espermatozoide. (Fig. 14.4)

Os espermatozoides recém-formados são transportados para o epidídimo, um tubo enovelado com 6 a 7 centímetros de comprimento, localizado sobre o testículo. Aí, os espermatozoides completam seu amadurecimento e ficam armazenados até sua eliminação. (Fig. 14.5)

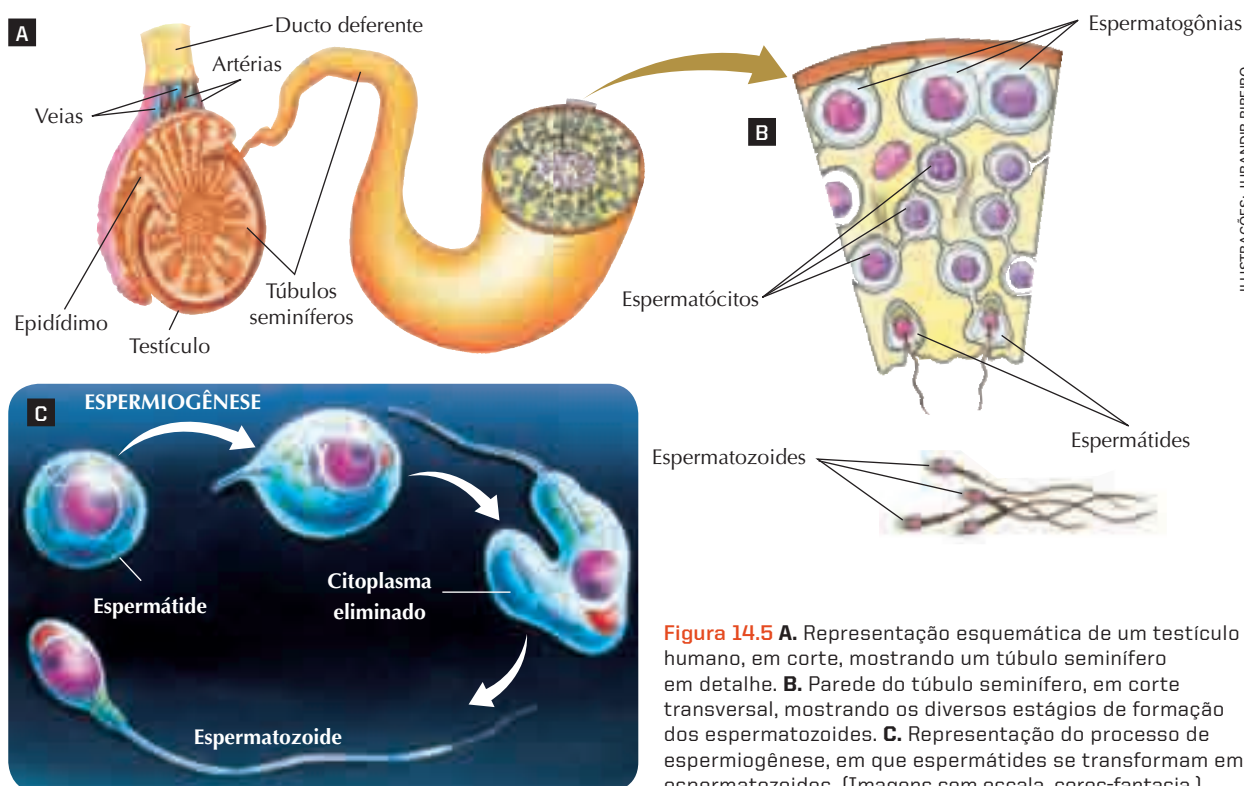


Figura 14.5 A. Representação esquemática de um testículo humano, em corte, mostrando um túbulo seminífero em detalhe. **B.** Parede do túbulo seminífero, em corte transversal, mostrando os diversos estágios de formação dos espermatozoides. **C.** Representação do processo de espermiogênese, em que espermátides se transformam em espermatozoides. [Imagens sem escala, cores-fantasia.]

ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Dos epidídimos de cada testículo, os espermatozoides passam para os **ductos deferentes** (antes denominados canais deferentes). Estes são dois tubos musculares (um proveniente de cada testículo) com cerca de 45 centímetros de comprimento, que contornam a bexiga urinária e, embaixo dela, fundem-se em um conduto único, o ducto ejaculatório, que desemboca na uretra.

As **glândulas seminais** (ou vesículas seminais), localizadas atrás da bexiga urinária, produzem uma secreção viscosa que é lançada no ducto ejaculatório, no clímax da excitação sexual. Essa secreção constitui até 85% do volume total do **esperma**, ou sêmen, como é chamado o fluido leitoso formado por espermatozoides e por líquidos nutritivos.

A **próstata**, localizada embaixo da bexiga urinária, é uma glândula com cerca de 4 centímetros de diâmetro que envolve a porção inicial da uretra. A secreção prostática, que constitui entre 15% e 30% do esperma, é lançada na uretra e no ducto ejaculatório através de uma série de pequenos canais.

Embaixo da próstata e desembocando na uretra, há um par de **glândulas bulbouretrais**. Durante a excitação sexual, essas glândulas liberam um líquido que contribui para a limpeza do canal da uretra antes da passagem do esperma.

Eliminação dos espermatozoides: ejaculação

No clímax da excitação sexual masculina, ocorre a **ejaculação**, processo de eliminação do esperma através da uretra. Inicialmente, os espermatozoides vão dos testículos e dos epidídimos até o começo da uretra; nesse trajeto, eles são impelidos por contrações rítmicas dos músculos que envolvem os epidídimos e os ductos deferentes. Em um segundo momento, que é a ejaculação propriamente dita, o esperma é impelido até a extremidade da uretra e eliminado. A expulsão do esperma dá-se por contrações espasmódicas dos músculos que envolvem o corpo esponjoso em torno da uretra. O volume de esperma eliminado em cada ejaculação é de aproximadamente 5 mililitros e contém cerca de 350 milhões de espermatozoides.

Seção 14.3

Fecundação

» Habilidades sugeridas

- Compreender as contribuições do gameta feminino e do gameta masculino no processo de fecundação.
- Aplicar os conhecimentos sobre sistema genital e reprodução para decidir e controlar sua própria reprodução, compreendendo os princípios de funcionamento dos diversos métodos contraceptivos.

» Conceito principal

- **fecundação**

Fecundação ou **fertilização** é a fusão de um par de gametas, com formação do zigoto. Na espécie humana, a fecundação ocorre no terço inicial do oviduto, geralmente nas primeiras 24 horas após a ovulação.

Como já comentamos, o óvulo humano é um ovócito secundário, revestido por uma grossa camada de glicoproteínas aderidas à membrana plasmática ovular, a **zona pelúcida**. Esse envoltório é recoberto por algumas camadas de células foliculares ovarianas, que nutriram o ovócito durante seu desenvolvimento no folículo. Os envoltórios ovulares constituem um eficiente revestimento protetor do gameta feminino, mas exigem que o espermatozoide seja dotado de um sistema perfurador capaz de vencer os obstáculos à fecundação.

Segundo diversas experiências, os gametas femininos exercem forte atração química sobre os espermatozoides, que, ao se aproximar de um óvulo, nadam na direção dele. Em geral, dezenas de espermatozoides cercam o gameta feminino e inserem-se pelos espaços entre as células foliculares, até atingir a zona pelúcida. Ali, um dos componentes do envoltório ovular, a glicoproteína ZP3, une-se ao espermatozoide e induz seu acrossomo a liberar o conteúdo enzimático. A ação das enzimas acrossômicas, dentre as quais a hialuronidase, abre um canal na zona pelúcida por onde o espermatozoide penetra e atinge a membrana plasmática do óvulo.

Nos mamíferos, a membrana plasmática do espermatozoide apresenta proteínas denominadas fertilizinas, por meio das quais ela se une a proteínas receptoras presentes na membrana do óvulo. Quando esses dois tipos de proteína se associam, as membranas dos gametas masculino e feminino fundem-se. A fusão causa uma alteração na permeabilidade da membrana ovular aos íons Na^+ e K^+ , gerando uma onda de despolarização que se propaga por toda a superfície do óvulo. A alteração de carga elétrica na superfície da membrana plasmática ovular impede que outros espermatozoides se unam a ela. Assim, esse mecanismo garante que apenas um espermatozoide fecunde o óvulo.

Imediatamente abaixo da membrana plasmática do óvulo há pequenas bolsas membranosas repletas de enzimas digestivas, os **grânulos corticais**. Com a entrada do primeiro espermatozoide e consequente despolarização da membrana ovular, os grânulos corticais fundem-se a ela, eliminando seu conteúdo enzimático para o exterior por exocitose. As enzimas dos grânulos corticais atuam sobre a zona pelúcida, alterando os receptores ZP3, que perdem a capacidade de se ligar a espermatozoides. Com isso, nenhum outro espermatozoide tem condições de atravessar a zona pelúcida. (Fig. 14.6)

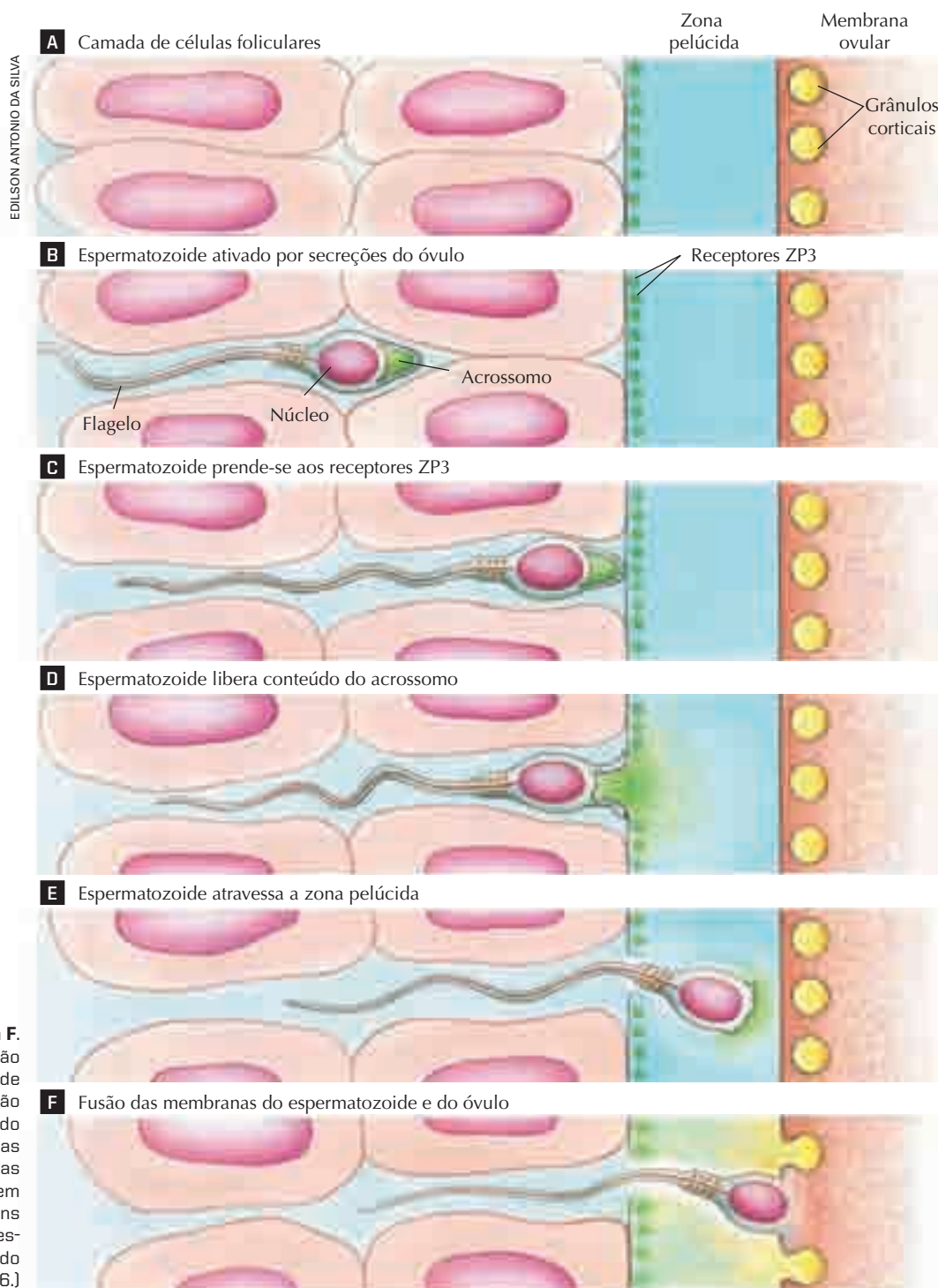


Figura 14.6 A a F. Representação esquemática de uma pequena região da superfície do óvulo, mostrando as principais etapas da fecundação em mamíferos. (Imagens sem escala, cores-fantasia.) (Baseado em Gilbert, S., 2006.)

Na região de fusão entre a membrana do espermatozoide com a do óvulo, surgem feixes de filamentos de actina, que conduzem o conteúdo do espermatozoide – núcleo, mitocôndrias e flagelo – para dentro do gameta feminino. No citoplasma ovular, os corpos basais do flagelo do espermatozoide originam os centríolos do zigoto; o resto da cauda e as mitocôndrias do gameta masculino degeneram e seus cromossomos reúnem-se aos do óvulo, como veremos a seguir.

A penetração do espermatozoide induz o ovócito a completar a segunda divisão meiótica, o que origina o segundo glóbulo polar e o núcleo do ovócito. Este é chamado de **pronúcleo feminino** e está pronto para se encontrar com o núcleo do espermatozoide, que aumenta de volume e passa a ser chamado de **pronúcleo masculino**. Cerca de 15 horas após a penetração do espermatozoide no óvulo, os pronúcleos masculino e feminino ficam muito próximos um do outro e seus cromossomos iniciam o processo de condensação, preparando-se para a primeira divisão celular do zigoto. Nos mamíferos, os pronúcleos não se fundem; eles permanecem próximos e, em determinado momento, suas cariotecas rompem-se e liberam os cromossomos maternos e paternos no citoplasma do zigoto. Os cromossomos ligam-se às fibras do fuso e ocorre a separação das cromátides-irmãs para polos opostos (relembre a divisão celular no capítulo 8). Cada polo do fuso recebe um lote de 23 cromossomos maternos e um lote de 23 cromossomos paternos. Após a mitose se completar, cada uma das duas primeiras células embrionárias apresenta 46 cromossomos, 23 de origem materna e 23 de origem paterna. (Fig. 14.7)

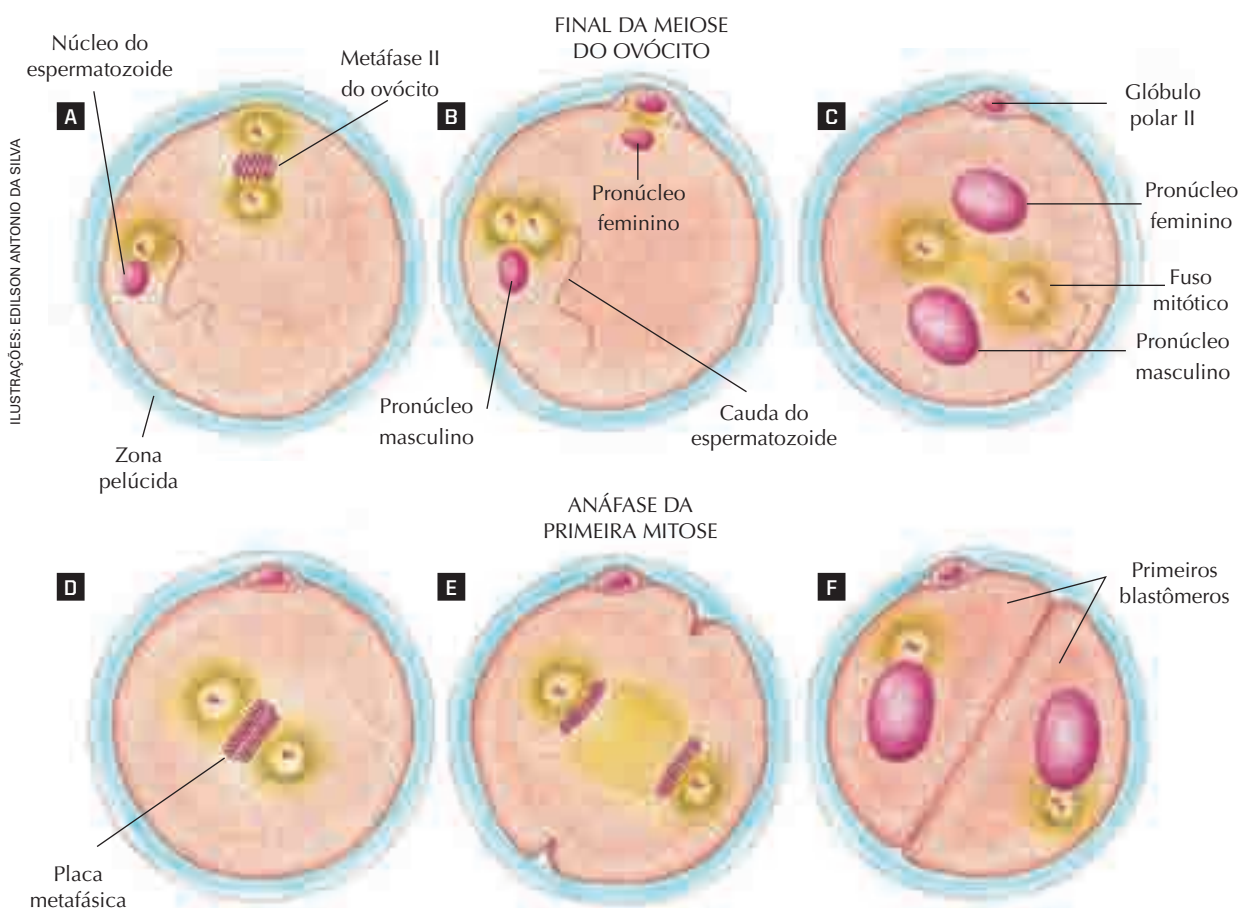


Figura 14.7 Representação esquemática das etapas da formação de um zigoto humano e de sua primeira mitose. **A.** Espermatozoide no interior do ovócito secundário. **B.** Fim da meiose do ovócito, com formação do segundo glóbulo polar e do pronúcleo feminino. **C.** Os pronúcleos masculino e feminino dispõem-se próximos do fuso mitótico, com os cromossomos já bem condensados. **D.** Os envoltórios nucleares dos dois pronúcleos se desfazem e os cromossomos condensados espalham-se nas proximidades do fuso, unindo-se às fibras. **E.** Separação de cromátides-irmãs para polos opostos do fuso, onde se originam dois núcleos-filhos, cada um com dois conjuntos de cromossomos (um materno e outro paterno). **F.** Citocinese e formação dos dois primeiros blastômeros. (Imagens sem escala, cores-fantasia.) (Baseado em Gilbert, S., 2006.)

- 1 Os conhecimentos sobre a reprodução humana têm permitido que muitos casais solucionem dificuldades biológicas para procriar. Os tratamentos podem variar desde injeções de hormônios e correção cirúrgica de órgãos genitais até a fecundação em laboratório e a implantação de embriões no útero.
- 2 Em julho de 1978, nasceu, em Londres, Louise Brown; ela foi o primeiro “bebê de proveta”, a primeira criança concebida *in vitro* com sucesso. A Sra. Brown, mãe de Louise, tinha tubas uterinas obstruídas e, por isso, não podia engravidar. Em um procedimento inédito, o ginecologista Dr. Patrick Steptoe primeiramente aplicou injeções de hormônios na Sra. Brown, o que induziu o amadurecimento de óvulos em seus ovários e preparou o útero para uma gravidez. Em seguida, o Dr. Steptoe retirou cirurgicamente alguns óvulos dos ovários da Sra. Brown, passando-os para um frasco com meio nutritivo, onde eles foram fecundados por espermatozoides do marido. Cerca de seis dias depois, cada óvulo fecundado tinha se transformado em um pequeno embrião. Alguns dos embriões foram implantados no útero da Sra. Brown, onde um deles se desenvolveu e gerou Louise.
- 3 O sucesso na concepção de Louise, atualmente uma senhora normal e saudável, tem levado milhares de mulheres com problemas de infertilidade a implantar embriões concebidos *in vitro*, isto é, fora do corpo. Crianças nascidas por esse método ficaram conhecidas popularmente como “bebês de proveta” para ressaltar o fato de terem sido concebidas em um recipiente de laboratório. (Fig. 14.8)

Figura 14.8 Equipamento de micromanipulação utilizado para injetar um espermatozoide (com uma microagulha) diretamente no citoplasma do óvulo. No detalhe, visualização, ao microscópio óptico, desse procedimento (aumento $\approx 190\times$).

- 4 A fecundação *in vitro*, embora seja cada vez mais utilizada, ainda desperta polêmicas. Em cada tratamento, geralmente são fecundados de 10 a 15 óvulos, a maioria dos quais se desenvolve e origina embriões. Alguns dias depois, cerca de quatro embriões selecionados são implantados no útero da mulher, tendo em vista que a chance de sucesso nessa etapa é da ordem de 25%. Os demais embriões são congelados em nitrogênio (N_2) líquido, a uma temperatura aproximada de $196^\circ C$ negativos, para serem utilizados no caso de a primeira operação não ter sucesso ou se o casal desejar ter outros filhos mais tarde.
- 5 O que fazer com os embriões não utilizados? Eles devem permanecer congelados indefinidamente ou podem ser descartados? Podem ser doados ou vendidos a outra pessoa? Podem ser utilizados para a obtenção de células-tronco embrionárias? Afinal de contas, todos os embriões que se desenvolvem em um processo de fecundação *in vitro* são irmãos daquele que se desenvolveu. Descartá-los não seria equivalente a um aborto? Essas são apenas algumas das questões éticas que se apresentam quando o assunto é reprodução humana.



GUIA DE LEITURA

1. Leia o primeiro parágrafo do quadro. Você conhece alguma pessoa que utilizou algum tratamento médico para ter filhos? Se tiver oportunidade, converse com seus pais e amigos a esse respeito.
2. Leia o segundo parágrafo, que se refere ao primeiro caso bem-sucedido de fecundação *in vitro*. Sobre o texto responda: a) por que você acha que foi utilizada a expressão “bebê de proveta”? b) qual era o motivo da infertilidade da Sra. Brown, futura mãe de Louise? c) resuma o procedimento do Dr. Steptoe com a Sra. Brown.
3. Leia o terceiro parágrafo do quadro. Confira a explicação para a utilização do termo “bebê de proveta”. Observe a **Figura 14.8**, que mostra o equipamento de micromanipulação utilizado para promover um tipo particular de fecundação *in vitro*. Leia atentamente a legenda e certifique-se de ter compreendido as imagens no detalhe, acima.
4. No quarto e quinto parágrafos do quadro, comente-se sobre uma das polêmicas relativas à fecundação *in vitro*. Qual é ela? Em sua opinião, qual ou quais questionamentos e possibilidades lhe pareceram mais interessantes? Por quê?

- 1 A sexualidade e a reprodução da espécie humana são temas apaixonantes e polêmicos. A partir da adolescência, a taxa dos hormônios sexuais aumenta no sangue das pessoas, fazendo com que corpo e mente se modifiquem e a sexualidade passe a desempenhar um papel muito importante na vida.
- 2 O conhecimento científico sobre a reprodução humana vem garantindo às pessoas a possibilidade de controlar conscientemente sua reprodução. Além do método natural de controle, baseado apenas no conhecimento do ciclo reprodutivo, há também vários métodos anticoncepcionais eficazes, como a pílula, a camisinha, o diafragma, o DIU (dispositivo intrauterino) etc. Em uma sociedade democrática, espera-se que a utilização ou não de métodos anticoncepcionais seja uma livre escolha de cada um, de acordo com seus valores e crenças.
- 3 Conhecer os fundamentos da reprodução humana é importante para exercer a cidadania, não apenas por permitir à pessoa maior controle sobre sua própria reprodução, mas também por possibilitar reflexões mais aprofundadas sobre o crescimento populacional humano, em um mundo já tão intensamente povoado e com tantas questões por resolver.

Métodos contraceptivos

- 4 **Contraceção** é a prevenção deliberada da gravidez. A maneira mais óbvia e mais segura de prevenir a gravidez é a abstinência de relações sexuais, pelo menos durante o período fértil da mulher, isto é, em que existe a possibilidade de haver ovulação.
- 5 Ao longo da história, a humanidade tem desenvolvido diversos métodos para evitar a gravidez, genericamente denominados **métodos contraceptivos**, ou **métodos anticoncepcionais**.

- 6 Os métodos contraceptivos podem atuar em diferentes etapas do processo reprodutivo. Alguns impedem que os gametas masculinos e femininos se encontrem; outros impedem que a mulher produza gametas; outros, ainda, impedem a implantação do embrião recém-formado na mucosa uterina. (Fig. 14.9)

Coito interrompido

- 7 Um método para evitar a gravidez é o **coito interrompido**, que consiste em retirar o pênis da vagina antes que a ejaculação ocorra. O coito interrompido é pouco eficiente, pois as secreções masculinas eliminadas antes da ejaculação podem conter espermatozoides. Outro motivo para o grande índice de falhas do método é a demora na retirada do pênis, que pode resultar na ejaculação parcial ou total ainda dentro da vagina.

Método do ritmo ovulatório ou da tabelinha

- 8 Pode-se evitar a gravidez abstendo-se de relações sexuais apenas durante o período fértil do ciclo menstrual. Esse método, conhecido como **método do ritmo ovulatório**, ou da **tabelinha**, baseia-se no fato de que o óvulo estará presente nos ovidutos, em condição de ser fecundado, apenas durante um curto período do ciclo menstrual, chamado de **período fértil**. A mulher normalmente produz, a cada 28 dias, um único óvulo, que sobrevive durante, no máximo, dois dias nos ovidutos, até degenerar e ser eliminado.
- 9 O principal problema é justamente determinar qual é o período fértil da pessoa. O dia em que ocorre a ovulação pode variar, dependendo da duração do ciclo e de outros fatores.



Figura 14.9 Alguns métodos contraceptivos. 1. Pílulas anticoncepcionais. 2. Diafragma. 3. Cremes e geleias espermicidas. 4. Camisinha. 5. Tipos de DIU.

10 Pode-se estimar o dia provável da ovulação, com algum grau de acerto, a partir da análise do gráfico de temperatura corporal. Na maioria das mulheres, a temperatura do corpo eleva-se cerca de $0,5^{\circ}\text{C}$ logo após a ovulação. O acompanhamento criterioso da temperatura corporal diária pode fornecer evidências de que a ovulação ocorreu. As estatísticas mostram que mulheres que determinam a época da ovulação por meio da tabela, com o auxílio da construção de gráficos de temperatura diária, têm uma elevada porcentagem de sucesso ao evitar uma gravidez indesejada, desde que sigam rigorosamente os princípios do método. (Fig. 14.10)

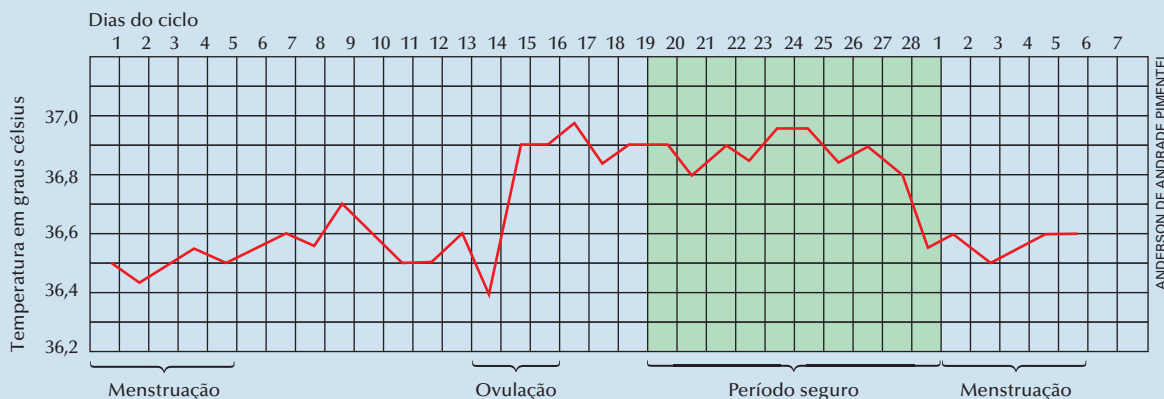


Figura 14.10 Gráfico que mostra as variações da temperatura corporal de uma mulher ao longo do ciclo menstrual; esse acompanhamento permite avaliar o período de menor risco de gravidez (período seguro), representado em verde.

Camisinha

11 Entre as práticas anticoncepcionais mais difundidas, destaca-se o uso de barreiras mecânicas, que evitam o encontro dos gametas. O **preservativo**, popularmente chamado de **camisinha**, é um protetor de látex utilizado para envolver o pênis durante o ato sexual, de modo a reter o esperma ejaculado, evitando que ele seja depositado na vagina. O preservativo feminino, que a mulher introduz na vagina antes da relação sexual, tem a mesma finalidade. Além de atuar como anticoncepcional, a camisinha é também eficiente na prevenção da aids e de outras doenças sexualmente transmissíveis (DSTs).

Diafragma

12 O **diafragma** é um dispositivo de borracha que deve ser colocado no fundo da vagina, de modo a fechar o colo do útero e impedir a entrada de espermatozoides. É comum aplicar no diafragma uma geleia contendo substâncias espermicidas, que matam espermatozoides e aumentam o índice de segurança do método. (Fig. 14.11)

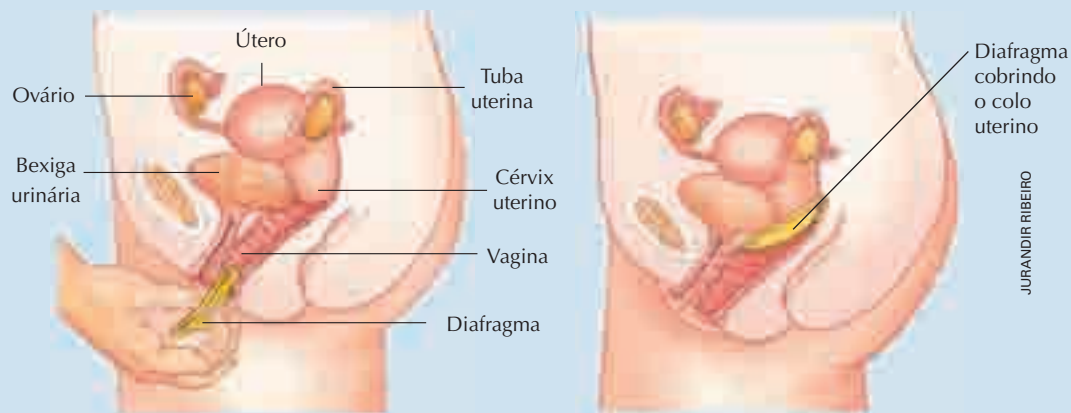


Figura 14.11 Representação esquemática da colocação correta do diafragma na vagina, de modo a cobrir totalmente o colo uterino. [Imagens sem escala, cores-fantasia.]

Pílula anticoncepcional

13 A **pílula anticoncepcional**, um dos métodos contraceptivos mais utilizados no mundo, consiste geralmente em uma mistura de hormônios sintéticos (progesterona e estrogênio), que a mulher deve ingerir todos os dias, a partir do 5º dia após a menstruação. Depois de 21 dias, suspende-se a pílula por uma semana e recomeça-se um novo lote de 21 pílulas. A menstruação costuma ocorrer cerca de três dias após a suspensão da ingestão das pílulas.

14 Os dois hormônios presentes na pílula anticoncepcional inibem a secreção de FSH e de LH pela hipófise. Na falta desses dois hormônios, não ocorre ovulação. A manutenção de níveis altos de estrogênio e de progesterona no sangue induz o crescimento da mucosa uterina, a qual se descama quando o nível desses hormônios se reduz, no período de uma semana em que a pílula deixa de ser ingerida.

15 A chamada **pílula do dia seguinte**, também conhecida como método contraceptivo de emergência, é um composto hormonal utilizado para prevenir uma gravidez indesejada dentro de 72 horas após uma relação desprotegida ou acidental.

16 Os hormônios constituintes dessa pílula atuam basicamente de duas formas: impedem a ovulação (se ainda não ocorreu) e não permitem que o embrião se implante na parede uterina, entre cinco e seis dias depois da fertilização.

17 Pesquisas científicas têm procurado avaliar se a ingestão de hormônios pode ser responsabilizada por problemas à saúde, tais como alterações na coagulação sanguínea, arteriosclerose e infartos. Um estudo verificou que mulheres fumantes e usuárias de pílulas anticoncepcionais apresentavam risco 10 vezes maior de morte por problemas cardiorrespiratórios. É importante que os contraceptivos orais sejam utilizados sob rigoroso acompanhamento médico, a fim de evitar efeitos colaterais prejudiciais decorrentes da ingestão de hormônios. Particularmente, a utilização da pílula do dia seguinte exige cuidados especiais.

Dispositivo intrauterino: DIU

18 **DIU** é a sigla de **dispositivo intrauterino**, nome pelo qual são conhecidos os dispositivos de plástico e metal introduzidos no útero com o objetivo de evitar a concepção. O DIU deve ser implantado por um médico especialista e, a menos que cause problemas colaterais evidentes, pode permanecer no útero até que a mulher deseje engravidar.

19 O modo de ação do DIU ainda não é totalmente compreendido. Acredita-se que sua presença no útero cause uma pequena inflamação, atraindo macrófagos que destroem os embriões que tentam se implantar

na mucosa uterina. Por isso, alguns consideram a utilização do DIU um método abortivo, uma vez que, indiretamente, causa a morte do embrião, por impedir que este se fixe ao útero. (Fig. 14.12)

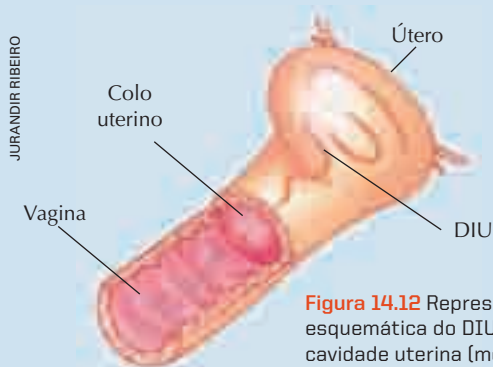


Figura 14.12 Representação esquemática do DIU na cavidade uterina (mostrado por transparência). [Imagem sem escala, cores-fantasia.]

Vasectomia

20 Esterilização é qualquer processo que impede definitivamente a concepção. No caso do homem, o processo utilizado na esterilização é a **vasectomia**, que consiste no secionamento dos ductos deferentes de modo que os espermatozoides não possam chegar à uretra.

21 Como não afeta a produção de testosterona pelos testículos, a vasectomia não tem nenhum efeito negativo sobre a atividade sexual do homem. O homem vasectomizado atinge o orgasmo e ejacula normalmente, com a diferença de que seu esperma não contém espermatozoides, sendo constituído apenas pelas secreções das glândulas acessórias. (Fig. 14.13)

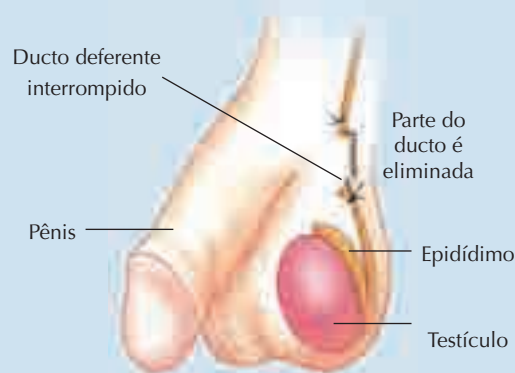


Figura 14.13 Representação esquemática da vasectomia, cirurgia em que os ductos deferentes são secionados. [Imagem sem escala, cores-fantasia.] Embora a cirurgia possa ser revertida, nem sempre há sucesso em recuperar a fertilidade. Entretanto, homens vasectomizados que querem ter filhos podem coletar espermatozoides diretamente do testículo e utilizá-los na fecundação *in vitro*.

Laqueadura tubária

22 A esterilização feminina é denominada **laqueadura tubária** e consiste no secionamento das tubas uterinas. Assim, os espermatozoides são impedidos de chegar até os óvulos. (**Fig. 14.14**)

Figura 14.14
Representação esquemática da laqueadura tubária, uma cirurgia abdominal em que se secionam as tubas uterinas. Em geral, essa cirurgia é feita em mulheres que já tiveram filhos. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)



GUIA DE LEITURA

1. Leia os três parágrafos iniciais do quadro, que argumentam a favor da importância dos conhecimentos sobre reprodução humana para o exercício pleno da cidadania. Escreva um texto concordando ou discordando das ideias desses três parágrafos.
2. Leia o quarto, o quinto e o sexto parágrafos, no item *Métodos contraceptivos*. Responda: a) o que é contracepção? b) em que etapas da reprodução podem atuar os métodos contraceptivos?
3. O sétimo parágrafo refere-se ao coito interrompido. Qual é o princípio desse método? Em que ele pode falhar?
4. Leia os parágrafos 8, 9 e 10, que apresentam o método do ritmo ovulatório, conhecido popularmente por tabelinha. a) Qual é o princípio desse método? b) Em que ele pode falhar? c) O que pode ser feito para melhorar sua eficácia?
5. Analise a **Figura 14.10**, que representa um gráfico da temperatura corporal de uma mulher ao longo de seu ciclo menstrual. Localize e analise o comportamento da curva vermelha na ovulação. Confira, nos parágrafos referentes a esse método, como foi estimado o chamado “período seguro”, marcado em verde.
6. Leia o 11º parágrafo, que se refere aos preservativos de látex, feminino e masculino. Este último, conhecido por camisinha, é certamente o mais popular de todos os métodos anticoncepcionais. a) Qual é o princípio desse método? b) Em que ele pode falhar? c) Qual é o outro aspecto importante da utilização da camisinha, além do anticoncepcional?
7. No 12º parágrafo é apresentado o diafragma. Acompanhe a leitura do texto com a observação da **Figura 14.11**. a) Qual é o princípio desse método? b) Em que ele pode falhar? c) O que pode ser feito para melhorar sua eficácia?
8. Os parágrafos de 13 a 17 referem-se à pílula anticoncepcional. a) Qual é o princípio desse método? b) Quais os possíveis efeitos colaterais decorrentes do uso continuado dos hormônios contraceptivos? c) O que é a chamada pílula do dia seguinte?
9. Nos parágrafos 18 e 19 é apresentado o DIU (dispositivo intrauterino). Acompanhe a leitura do texto com a observação da **Figura 14.12**. a) Qual é o princípio desse método? b) Por que alguns criticam a utilização desse método contraceptivo?
10. Leia o 20º e o 21º parágrafos referentes à vasectomia. Acompanhe com a observação da **Figura 14.13** e a leitura atenta da legenda. a) Qual é o princípio desse método? b) Na legenda da figura há uma informação sobre a vasectomia não mencionada no texto; qual é ela?
11. Leia o 22º e último parágrafo sobre a laqueadura tubária. Acompanhe com a observação da **Figura 14.14** e a leitura atenta da legenda. a) Qual é o princípio desse método? b) Na legenda da figura há uma informação sobre a laqueadura não mencionada no texto; qual é ela?

QUESTÕES PARA PENSAR E DISCUTIR

Questões objetivas

Considere as alternativas a seguir para responder às questões de 1 a 5.

- a) Endométrio.
- b) Folículo ovariano.
- c) Ovócito I.
- d) Ovócito II.
- e) Primeiro glóbulo polar.

1. Onde ocorre o processo de ovulogênese?
2. Qual é o nome da célula em que se inicia a primeira divisão da meiose, e que origina duas células de tamanho desigual?
3. Como se chama o revestimento interno do útero?
4. Quais são os produtos da divisão I da meiose de uma ovogônia?
5. Qual é o nome da célula correspondente ao gameta feminino e que, ao ser fecundada, dá continuidade à meiose?
6. “O óvulo humano estaciona na (1) da meiose e somente dá continuidade a esse processo de divisão se ocorrer (2).” Qual é a alternativa que substitui corretamente os números 1 e 2 entre os parênteses?
 - a) 1= prófase I; 2= ovulação.
 - b) 1= metáfase II; 2= ovulação.
 - c) 1= prófase I; 2= fecundação.
 - d) 1= metáfase II; 2= fecundação.
7. Durante a ovulogênese, a sequência de células que leva à formação do óvulo é
 - a) ovócito I → ovócito II → ovogônia.
 - b) primeiro glóbulo polar → ovócito I → ovócito II → ovogônia.
 - c) ovogônia → primeiro glóbulo polar → ovócito II.
 - d) ovogônia → ovócito I → ovócito II.
8. Na ovulação, o caminho natural do óvulo, após ser liberado pelo ovário, é penetrar
 - a) na vagina.
 - b) na tuba uterina.
 - c) no colo uterino.
 - d) no folículo ovariano.

Considere as alternativas a seguir para responder às questões de 9 a 12.

- a) Espermátides.
 - b) Espermátócitos I.
 - c) Espermátócitos II.
 - d) Espermátogônias.
9. Qual é o nome das duas células originadas pela divisão I da meiose masculina?
 10. Como se denominam as células testiculares que, a partir da puberdade, multiplicam-se ativamente por mitose, e que dão origem aos espermatozoides?

11. Em que célula precursora dos espermatozoides ocorre a primeira divisão da meiose?
12. Como é chamada a célula originada pelo processo de meiose e que se diferenciara formando o espermatozoide?
13. Em cada ejaculação, o número médio de espermatozoides eliminado é da ordem de
 - a) 350.
 - b) 1.000.
 - c) 200.000.
 - d) 350.000.000.
14. A pílula anticoncepcional é composta por hormônios sintéticos, cuja função é
 - a) impedir a formação do endométrio.
 - b) induzir a menstruação.
 - c) reduzir o impulso sexual.
 - d) suprimir a ovulação.
15. Entre os métodos anticoncepcionais a seguir, qual também previne doenças sexualmente transmissíveis (aids, sífilis, gonorréia etc.)?
 - a) Camisinha.
 - b) Diafragma.
 - c) DIU (dispositivo intrauterino).
 - d) Pílula anticoncepcional.
16. Um dos métodos anticoncepcionais consiste em colocar, na cavidade uterina, um instrumento que supostamente impede a fixação do embrião ao endométrio.
Esse instrumento é conhecido como
 - a) camisinha.
 - b) diafragma.
 - c) DIU (dispositivo intrauterino).
 - d) laqueadura tubária.

Questão discursiva

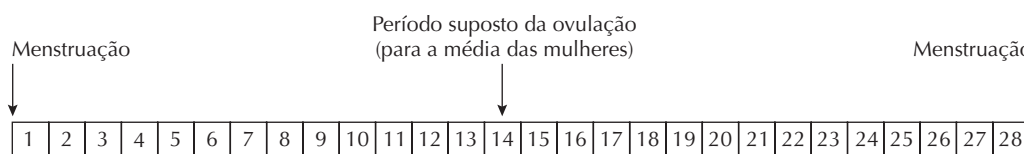
17. O conhecimento dos fenômenos que ocorrem no ciclo menstrual, bem como da época aproximada em que a ovulação acontece, permitem estimar os períodos férteis e não férteis de uma mulher. O dia em que ocorre a ovulação depende de diversos fatores, por isso, não é fixo; a ovulação ocorre, em geral, entre o 10º e o 18º dia do ciclo. Esse dia pode ser determinado com base na descoberta de que a temperatura corporal (basal) da mulher aumenta em cerca de 0,5 °C logo após a ovulação. Assim, se medir a temperatura basal todos os dias, de preferência pela manhã, antes de se levantar, e detectar a elevação da temperatura média de seu corpo, ela pode determinar o dia em que sua ovulação ocorre.
Observe, no gráfico da figura 14.10, a temperatura corporal de uma mulher ao longo do ciclo menstrual. Suponha que um casal deseje evitar filhos sem a utilização de anticoncepcionais, considerando apenas o ritmo biológico de ovulação.

Lembre-se de que o óvulo está apto a ser fecundado apenas nas primeiras 24 horas após a ovulação e que os espermatozoides sobrevivem com capacidade fecundante até cerca de 72 horas no corpo da mulher. A partir desses dados, estabeleça:

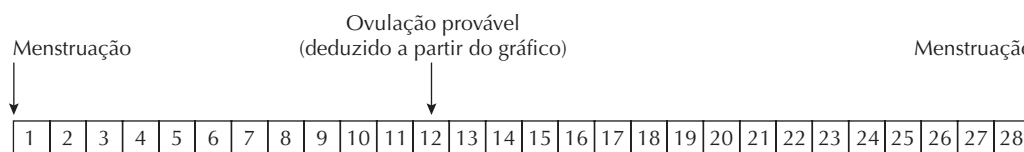
- No caso de uma mulher que não construiu a curva de temperatura basal, para ter boa margem de segurança de que não engravidará, em que período deve evitar relações sexuais (lembre-se de considerar que, para diferentes mulheres, o período de ovulação apresenta variações)?
- No caso de uma mulher que construiu a curva de temperatura basal e detectou aumento da temperatura no 12º dia do ciclo, para ter boa margem de segurança de que não engravidará, em que período deve evitar relações sexuais?

Com base nas respostas dadas às questões acima, em seu caderno, copie os dois esquemas abaixo, I e II, em que se considera um ciclo menstrual de 28 dias (também há variações na duração do ciclo). Determine, nos dois casos, os dias férteis em que as relações sexuais devem ser evitadas.

I. esquema relativo à questão a (sem construção do gráfico de temperatura)



II. esquema relativo à questão b (com construção de gráfico, detectando aumento da temperatura a partir do 12º dia)



VESTIBULARES PELO BRASIL

Questões objetivas

- (Unir-RO) Comparando-se a ovogênese (I) com a espermatogênese (II), todas as alternativas abaixo estão corretas, **exceto**:
 - Nos dois processos ocorre meiose.
 - Ambos são importantes para manter constante o número de cromossomos típicos de cada espécie.
 - I ocorre nos ovários e II, nos testículos.
 - Há maior produção de gametas em II do que em I.
 - Em I e II, as células formadas são diploides.
- (UFMA) Com relação à gametogênese humana, é **correto** afirmar que
 - cada ovócito I produz 4 ovócitos II.
 - ovogônias e ovócitos primários são formados durante toda a vida da mulher.
 - espermátogônias são formadas apenas durante a vida intrauterina.
 - cada espermatócito I produz um espermatozoide.
 - a ovogênese só é concluída se o ovócito II for fecundado.
- (UFRRJ) Da fusão dos gametas masculino e feminino, ambos haploides, surge a célula-ovo ou zigoto, em que se restabelece o número diploide. Comparando-se a quantidade de DNA encontrada no núcleo das células somáticas de um camundongo, podemos afirmar que é igual
 - à quantidade de DNA encontrada no núcleo dos espermatozoides desse animal.
 - a duas vezes a quantidade de DNA encontrada no núcleo dos espermatozoides desse animal.
 - à metade da quantidade de DNA encontrada no núcleo dos espermatozoides desse animal.
 - a quatro vezes a quantidade de DNA encontrada no núcleo dos espermatozoides desse animal.
 - à quarta parte da quantidade de DNA encontrada no núcleo dos espermatozoides desse animal.
- (Fuvest-SP) Com relação à gametogênese humana, a quantidade de DNA
 - do óvulo é a metade da presente na ovogônia.
 - da ovogônia equivale à presente na espermatogônia.
 - da espermatogônia é a metade da presente no zigoto.
 - do segundo corpúsculo polar é a mesma presente no zigoto.
 - da espermatogônia é o dobro da presente na espermátide.

São afirmativas corretas apenas

- a) I e II. c) I, II e V. e) III, IV e V.
b) IV e V. d) II, III e IV.

5. (Unesp) Considere a tabela seguinte, que contém diversas formas de contraceptivos humanos e três modos de ação.

Modos de ação			
	IMPEDE O ENCONTRO DE GAMETAS	IMPEDE A IMPLANTAÇÃO DO EMBRIÃO	PREVINE A OVULAÇÃO
I	Camisinha masculina	Dispositivo intrauterino (DIU)	Pílula comum
II	Coito interrompido	Laqueadura tubária	Camisinha feminina
III	Diafragma	Pílula do dia seguinte	Pílula comum
IV	Dispositivo intrauterino (DIU)	Laqueadura tubária	Camisinha feminina
V	Vasectomia	Camisinha masculina	Diafragma

A relação entre os tipos de contraceptivos e os três modos de ação está correta em

- a) I, apenas. c) I e III, apenas. e) III e V, apenas.
b) I e II, apenas. d) III e IV, apenas.
6. (UEL-PR) Abaixo estão esquematizados núcleos de um gametócito de primeira ordem, de um gametócito de segunda ordem e de uma tíde (ovótide ou espermatíde), de uma mesma espécie animal. Durante a gametogênese, as fases esquematizadas ocorrem na seguinte ordem:



- a) A B C c) B C A e) C A B
b) A C B d) B A C

❏ Questão discursiva

7. (UFV-MG) Podemos imaginar a fecundação, na espécie humana, como um verdadeiro “rallye” em decorrência de vários obstáculos presentes na trajetória dos espermatozoides até o óvulo. À semelhança de um “grid” de largada, os gametas masculinos depositados na vagina começam a “subir” pelo útero e ovidutos, em função de sua extraordinária motilidade (I). Transpõem várias barreiras como pH ácido, densas secreções mucosas, dobras e invaginações, até alcançar o oviduto, onde literalmente deverão continuar “nadando contra a maré”. Ao encontrar o óvulo, têm ainda que sobrepor mais uma barreira, uma vez que este é envolvido por uma camada de células (II). Por fim liberam uma enzima chamada hialuronidase, efetivando assim a fecundação.
- a) Cite o local onde, normalmente, ocorre a fecundação.
b) Qual é a organela celular responsável pela função indicada no texto por I?
c) Qual o nome da camada de células indicada no texto por II?

Capítulo 15

Noções de embriologia animal

A união dos gametas feminino e masculino forma o zigoto, que se multiplica e origina um ser multicelular dotado de milhares, milhões e até trilhões de células de centenas de tipos diferentes. Esse processo é o desenvolvimento embrionário, objeto de estudo da Embriologia.

Neste capítulo estudaremos os processos básicos do desenvolvimento embrionário dos animais.

► 15.1 Segmentação e formação da blástula

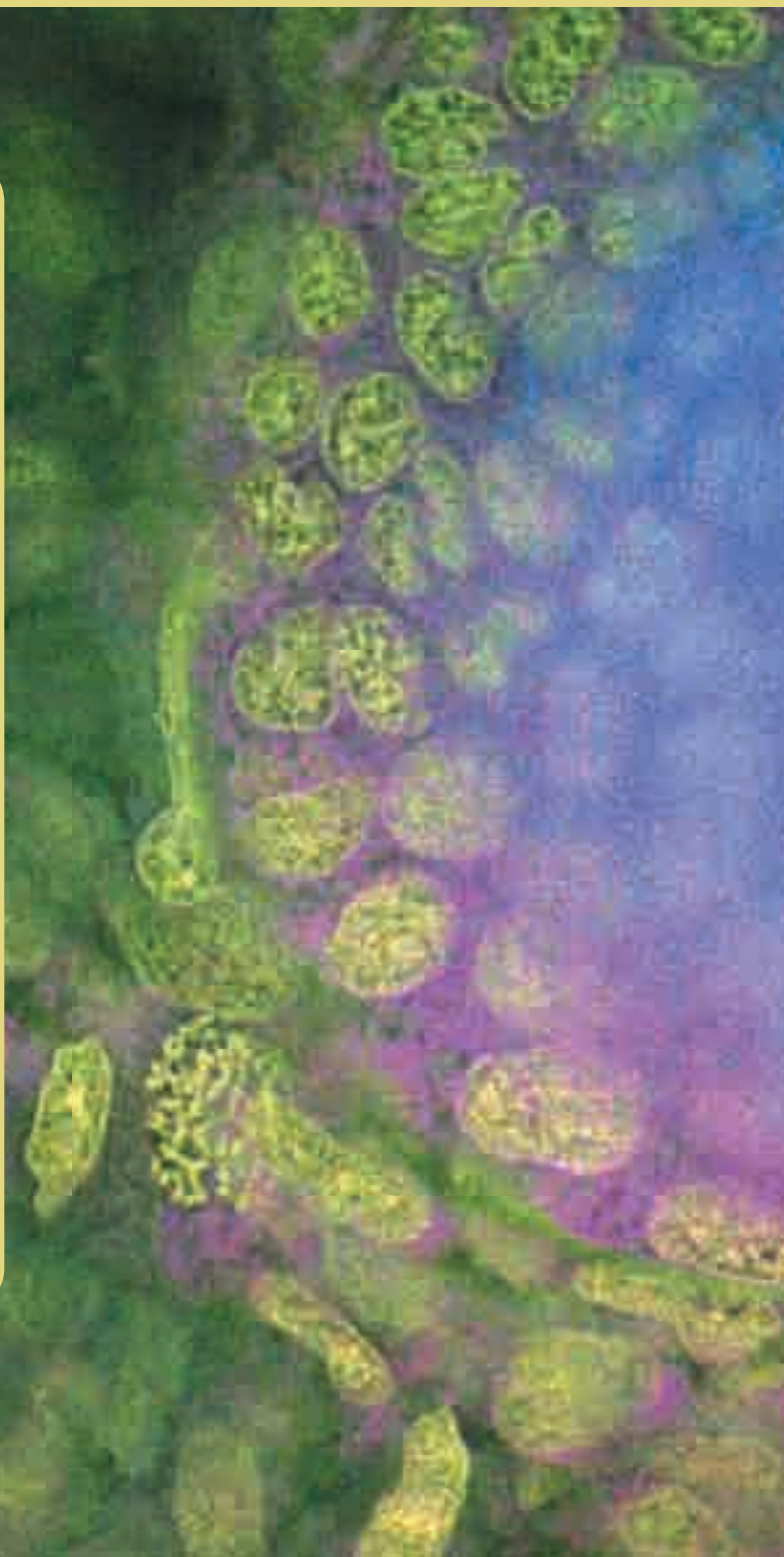
O desenvolvimento embrionário inicia-se com a primeira divisão mitótica do zigoto. A divisão rápida e contínua das células originadas do zigoto leva à formação do estágio embrionário denominado blástula.

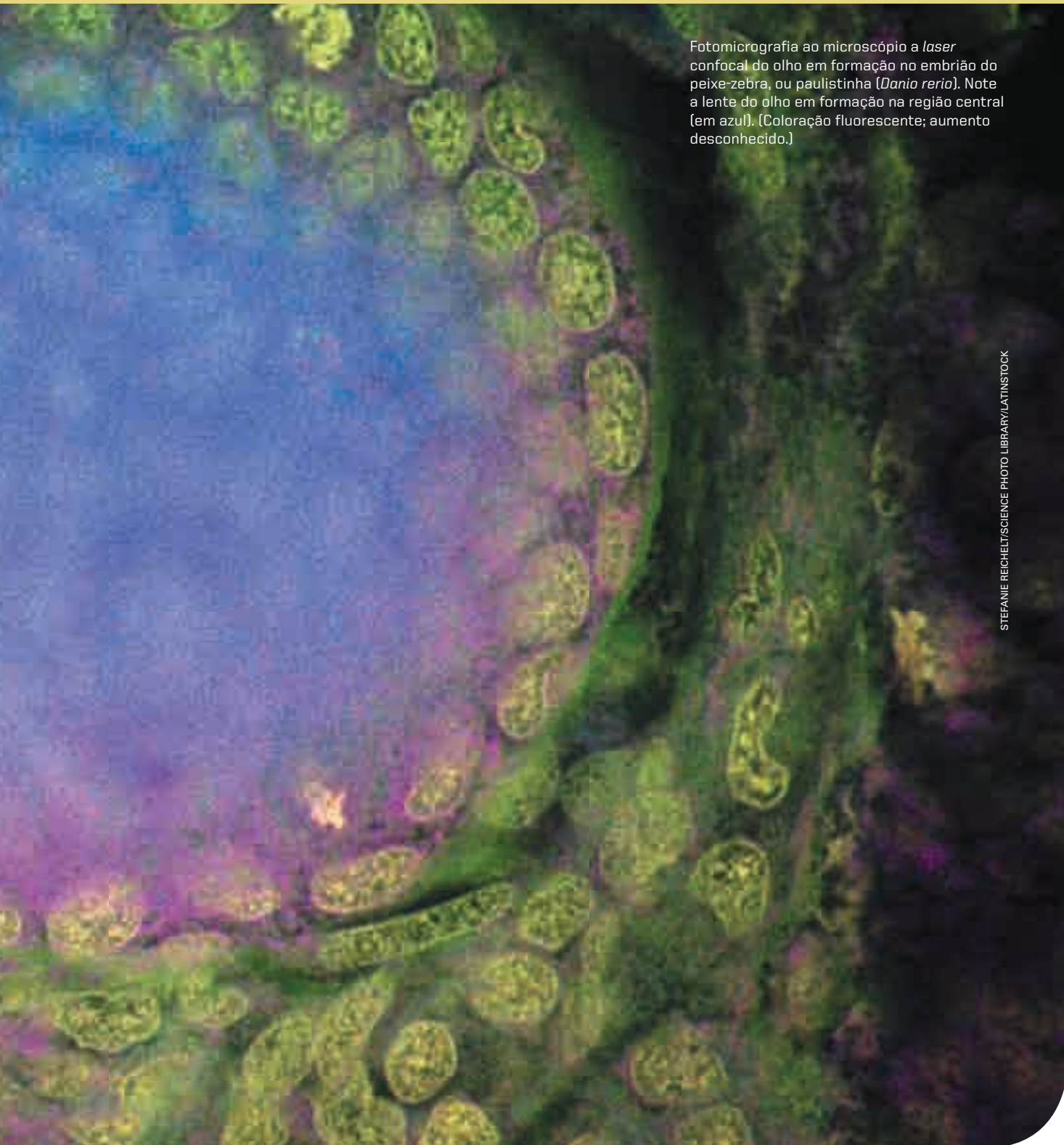
► 15.2 Gastrulação

Na gastrulação surge o esboço do tubo digestório e definem-se os três tecidos embrionários fundamentais, dos quais se originarão todos os tecidos do animal adulto.

► 15.3 Formação de tecidos e órgãos

Nos animais cordados, o final do desenvolvimento embrionário é marcado pela formação do tubo nervoso e da notocorda. Nesse estágio ocorrem a formação dos tecidos e a formação dos órgãos. O desenvolvimento embrionário de répteis, aves e mamíferos depende de estruturas que se formam associadas ao corpo do embrião, os anexos embrionários.





Fotomicrografia ao microscópio a *laser* confocal do olho em formação no embrião do peixe-zebra, ou paulistinha (*Danio rerio*). Note a lente do olho em formação na região central (em azul). (Coloração fluorescente; aumento desconhecido.)

STEFANIE REICHELT/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

» Habilidade sugerida

► Conceituar segmentação e relacionar o tipo de ovo ao tipo de segmentação que ocorre.

» Conceitos principais

- desenvolvimento embrionário
- segmentação
- blastômero
 - mórula
 - vitelo
- blástula
- blastocela

Segmentação e formação da blástula

1 As primeiras divisões do zigoto

Desenvolvimento embrionário é o período em que o zigoto, a primeira célula do indivíduo multicelular, transforma-se em um jovem organismo. A primeira manifestação exterior de que o desenvolvimento embrionário tem início é a divisão do zigoto, fenômeno denominado **segmentação** ou **clivagem**. A segmentação, como vimos, nada mais é que a citocinese, divisão citoplasmática que ocorre ao final da mitose e leva à formação de duas células-filhas.

As células resultantes da divisão do zigoto são chamadas **blastômeros**. A primeira divisão celular origina dois blastômeros, que logo se dividem, formando quatro, que se dividem novamente originando oito e assim sucessivamente. As divisões celulares que ocorrem nessa fase do desenvolvimento embrionário são extremamente rápidas; logo, o embrião é um aglomerado compacto de dezenas de células. Esse estágio do desenvolvimento é conhecido como **mórula** (do latim *morula*, amora), pelo fato de o embrião apresentar forma semelhante à de uma amora microscópica. Para se ter uma ideia da rapidez com que ocorrem as divisões celulares nessa fase inicial, basta dizer que após 12 horas do início do desenvolvimento o embrião de uma mosca drosófila tem nada menos que 50 mil células; e um embrião de rã, com apenas 43 horas de vida, é constituído por cerca de 37 mil células.

2 Distribuição de vitelo nos ovos

As células-ovo (zigotos) de praticamente todas as espécies animais possuem substâncias nutritivas armazenadas no citoplasma na forma de grânulos de **vitelo**, anteriormente denominado **lécito** (do grego *leki-thos*, gema de ovo ou vitelo), constituídos por uma mescla de proteínas e lipídios. Os componentes do vitelo nutrirão as células embrionárias no início do desenvolvimento. O tipo de segmentação que ocorre na célula-ovo está diretamente relacionado à sua quantidade de vitelo, que pode dificultar ou mesmo impedir a completa divisão do citoplasma. Com base na quantidade e na distribuição do vitelo, os ovos são classificados em quatro tipos: oligolécitos, mesolécitos, megalécitos e centrolécitos.

Ovos oligolécitos (do grego *oligos*, pouco), também chamados de isolécitos (do grego *isos*, igual), apresentam quantidade relativamente pequena de vitelo, distribuída de forma mais ou menos homogênea no citoplasma. Esse tipo de ovo está presente em cordados, equinodermos, moluscos, anelídeos, nematódeos e platelmintos. Em muitos mamíferos, a quantidade de vitelo nos ovos é tão reduzida que eles são chamados de alécitos (do grego *a*, negação).

Ovos mesolécitos (do grego *mesos*, intermediário), também chamados de ovos heterolécitos (do grego *heteros*, diferente, desigual), apresentam quantidade relativamente grande de vitelo, distribuída de forma heterogênea no citoplasma ovular. Um dos polos do ovo tem maior quantidade de grãos de vitelo, sendo chamado de **polo vegetativo**; o polo oposto, que tem menos vitelo, é denominado **polo animal**. Nesse tipo de ovo, próprio dos anfíbios, a densidade do vitelo faz o núcleo celular deslocar-se para o polo animal.

Ovos megalécitos (do grego *megas*, grande), também chamados ovos telolécitos (do grego *telos*, extremidade), apresentam grande quantidade de vitelo, que ocupa quase totalmente a célula; o citoplasma, contendo o núcleo, resume-se a um pequeno disco, restrito a uma região superficial, encostada na membrana plasmática. Esse tipo de ovo está presente em aves, répteis, peixes e moluscos cefalópodes (polvos e lulas).

Ovos centrolécitos (do grego *centra*, meio, centro) apresentam quantidade relativamente grande de vitelo concentrada na região central do ovo. Esse tipo de ovo ocorre na maioria dos artrópodes. (Fig. 15.1)

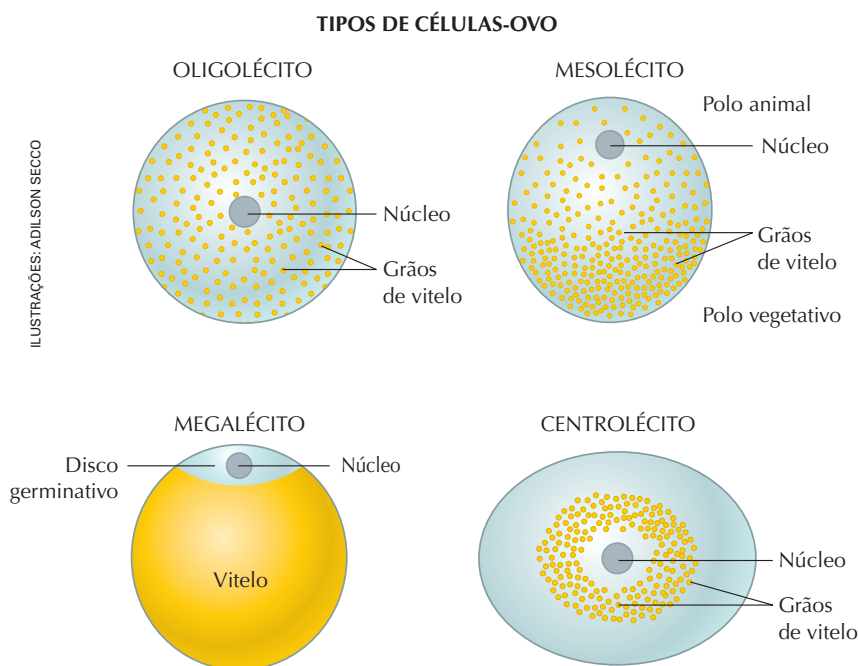


Figura 15.1 Representação esquemática de tipos de ovos quanto à distribuição do vitelo. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)

3 Tipos de segmentação

Segmentação holoblástica (total)

Nos ovos oligolécitos, em que o vitelo está distribuído de forma relativamente homogênea, as segmentações originam blastômeros aproximadamente de mesmo tamanho. Por isso, diz-se que esse tipo de ovo apresenta **segmentação holoblástica** (do grego *holos*, inteiro, total) e **igual**.

O padrão de segmentação não é definido apenas pela quantidade de vitelo, mas também por controle genético. Por esse motivo, grupos animais diferentes podem ter padrões de segmentação diversos, apesar de apresentarem o mesmo tipo de ovo. Nas espécies que possuem ovos oligolécitos, por exemplo, é possível distinguir quatro padrões distintos de segmentação holoblástica e igual – radial, espiral, bilateral e rotacional –, os quais não serão discutidos em detalhe neste livro.

Nos ovos mesolécitos, que também apresentam segmentação holoblástica (total), as duas primeiras clivagens ocorrem ao longo do eixo que passa pelos polos animal e vegetativo. Essas duas segmentações são perpendiculares entre si e dividem o ovo em quatro blastômeros de mesmo tamanho. Seria como se puséssemos uma laranja “em pé”, fazendo dois cortes perpendiculares de alto a baixo, de modo a obter quatro partes iguais. A terceira segmentação do ovo mesolécito ocorre em plano transversal aos dois primeiros, mas deslocado para o polo animal. Essa divisão origina quatro células pequenas no polo animal, os **micrômeros**, e quatro células maiores no polo vegetativo, os **macrômeros**. Ovos mesolécitos têm, portanto, **segmentação holoblástica (total) e desigual**.

Segmentação meroblástica (parcial)

Ovos megalécitos têm grande quantidade de vitelo, a ponto de as estruturas citoplasmáticas e o núcleo celular ficarem limitados a uma pequena área do polo animal, formando um pequeno disco superficial de 2 a 3 milímetros de diâmetro, o **disco germinativo**. Nesse tipo de ovo, à medida que as mitoses ocorrem, formam-se membranas celulares delimitando células-filhas apenas na região do disco germinativo, enquanto o restante do zigoto, onde está acumulado o vitelo, não se divide. Denomina-se, nesse caso, **segmentação meroblástica discoidal** (do grego *meros*, parte), ou segmentação parcial discoidal, por ocorrer no disco germinativo.

No caso dos artrópodes, que têm ovos centrolécitos, também ocorre segmentação parcial. De início, apenas os núcleos se dividem, sem formação de células individualizadas. Após certo número de mitoses, os núcleos migram para a periferia do ovo, dispondo-se imediatamente abaixo da membrana ovular. Formam-se, então, membranas plasmáticas entre eles, que individualizam células dispostas na periferia do embrião, constituindo uma camada unicelular que reveste completamente a massa central indivisa de vitelo. Denomina-se, nesse caso, **segmentação meroblástica superficial**.

4

Formação da blástula

Embriões provenientes de ovos oligolécitos ou mesolécitos, ao atingirem algumas dezenas de células, começam a formar em seu interior uma cavidade cheia de líquido. Em embriões de rã, por exemplo, isso é bem evidente no estágio de 128 células. O aparecimento dessa primeira cavidade embrionária marca o fim do estágio de mórula e o início da fase de **blástula**; a cavidade interna da blástula é denominada **blastocela**. (Fig. 15.2)

A blástula originada a partir de ovos oligolécitos é, em geral, uma esfera de células com um grande oco central, cheio de líquido, enquanto a proveniente de ovos mesolécitos é mais maciça, com a blastocela relativamente pequena e restrita à região correspondente ao polo animal. Nos ovos megalécitos, a blástula consiste em uma diminuta calota de células, o **blastodisco**, composto de duas camadas celulares, o epiblasto e o hipoblasto. O espaço entre essas duas camadas celulares é a blastocela.

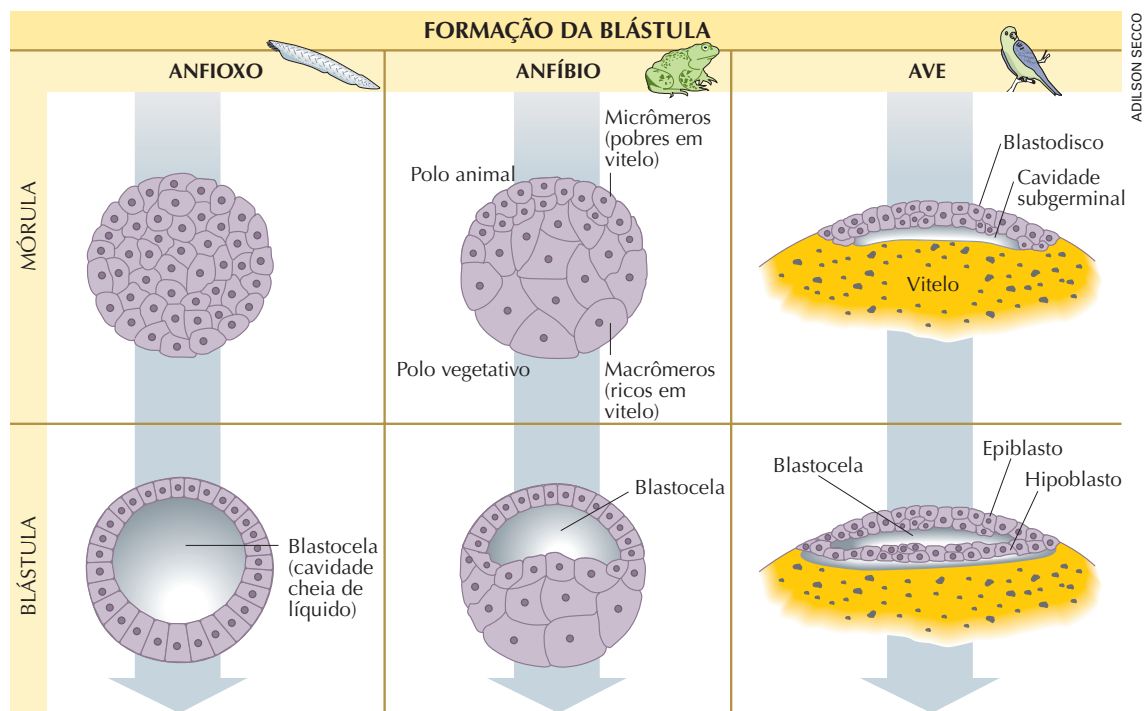


Figura 15.2 Representação esquemática, em corte, de tipos de blástula. No anfioxo (ovo oligolécito e segmentação total e igual), a blástula apresenta uma blastocela grande e central. Nos anfíbios (ovo mesolécito e segmentação total e desigual), a blástula é mais maciça, com a blastocela deslocada para o polo animal. Nas aves (ovo megalécito), a segmentação é meroblástica e discoidal. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)

Habilidades sugeridas

- Conceituar gastrulação e compreender que nesse estágio do desenvolvimento têm origem o arquêntero e os folhetos germinativos.
- Caracterizar animais protostômios, deuterostômios, diblásticos e triblásticos.

Conceitos principais

- gástrula
- arquêntero
- deuterostômio
- protostômio
- folheto germinativo
- diblástico
- triblástico

1 Características gerais da gastrulação

Gastrulação é o processo em que as células embrionárias passam por um profundo rearranjo, originando uma estrutura totalmente remodelada em relação à blástula: a **gástrula**. É nessa fase que se define o plano corporal do futuro animal. Intensos movimentos celulares permitem que células que darão origem a músculos e órgãos internos migrem para o interior do embrião, enquanto células precursoras da pele e do sistema nervoso dispõem-se na superfície. A migração de células para dentro do embrião faz com que a blastocela desapareça, surgindo uma nova cavidade, o **arquêntero**, ou gastrocela (do grego *gastros*, estômago, e *cela*, cavidade). O termo arquêntero (do grego *archeos*, primitivo, e *enteron*, intestino) indica que essa cavidade embrionária é o “esboço” do tubo digestório do futuro organismo.

O arquêntero comunica-se com o meio externo através de uma abertura denominada **blastóporo**. Nos vertebrados e demais cordados, assim como nos equinodermos (por exemplo, no ouriço-do-mar), o blastóporo dá origem ao ânus; a boca forma-se posteriormente, no lado oposto. Esses animais são, por isso, chamados de **deuterostômios** (do grego *deuteros*, segundo, e *stoma*, boca). Em todos os outros animais com tubo digestório completo, como nematódeos, moluscos, anelídeos e artrópodes, o blastóporo origina a boca; o ânus aparece posteriormente no decorrer do desenvolvimento embrionário. Esses animais são, por isso, chamados de **protostômios** (do grego *protos*, primeiro, e *stoma*, boca). (Fig. 15.3)

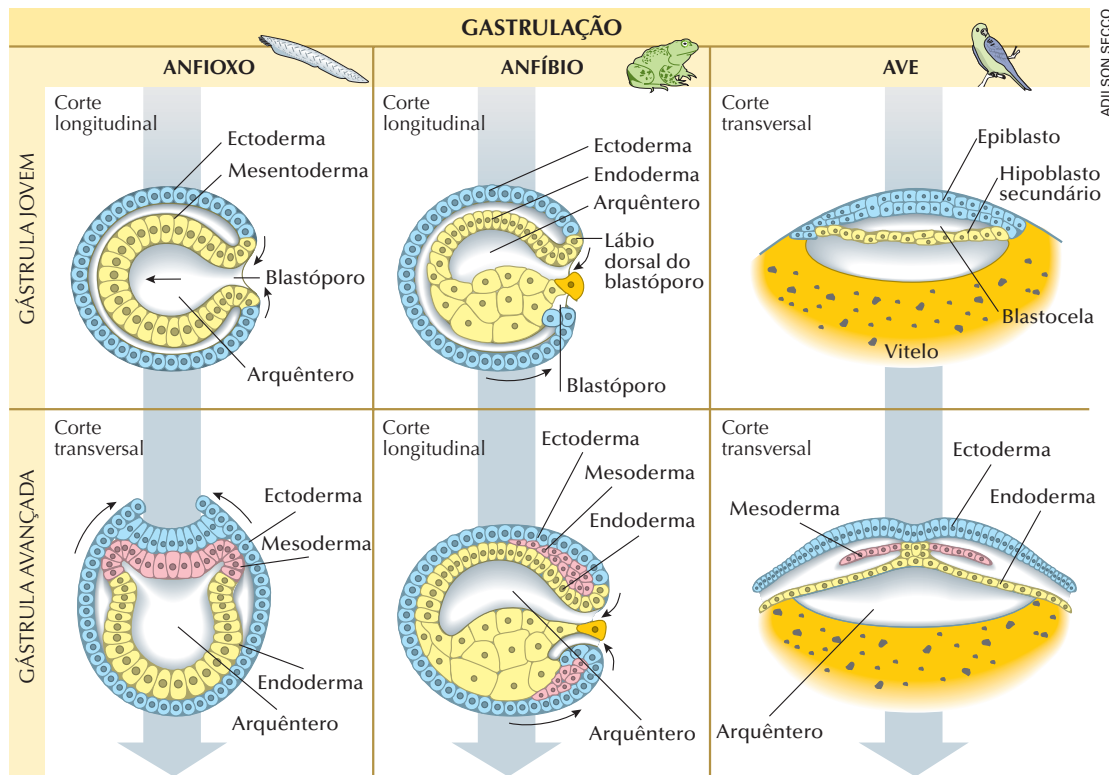


Figura 15.3 Representação esquemática em que se comparam os processos de gastrulação de anfioxos, anfíbios e aves. No anfioxo, as células de um polo da blástula parecem ser empurradas para dentro da blastocela. Nos anfíbios, a gastrulação ocorre pela migração de células do lábio dorsal do blastóporo para o interior da blastocela e, também, pelo crescimento de células da camada externa, que penetram pelo lábio inferior. Nas aves, formam-se lâminas transversais de células, que originam os três tecidos embrionários básicos. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)

No estágio de gástrula da maioria das espécies, os blastômeros reorganizam-se em três conjuntos de células: ectoderma, mesoderma e endoderma. Esses conjuntos celulares são também chamados de **folhetos germinativos**, por serem lâminas celulares e por gerarem todos os tecidos do corpo.

O folheto mais externo, que reveste o embrião, é o **ectoderma** (do grego *ecto*, fora); ele origina a epiderme (camada externa da pele) e estruturas associadas a ela: pelos, unhas, garras, glândulas sebáceas e glândulas sudoríparas. Além disso, o ectoderma também dá origem ao sistema nervoso.

O folheto germinativo mais interno é o **endoderma** (do grego *endo*, dentro), que delimita a cavidade do arquêntero. Além de originar o revestimento interno do tubo digestório, o endoderma forma as estruturas glandulares associadas à digestão: glândulas salivares, glândulas mucosas, pâncreas, fígado e glândulas estomacais. Esse folheto também origina os sistemas respiratórios, representados pelas brânquias ou pulmões.

O terceiro folheto germinativo se localiza entre o ectoderma e o endoderma, sendo por isso chamado de **mesoderma** (do grego *meso*, meio); ele origina músculos, ossos, sistema cardiovascular (coração, vasos sanguíneos e sangue) e sistema urogenital (rins, bexiga e vias urinárias), para citar alguns órgãos importantes. (Fig. 15.4)

Os únicos animais cujos embriões têm somente dois folhetos germinativos – ectoderma e endoderma – são os cnidários (águas-vivas, anêmonas e corais); por isso, eles são chamados de **diblásticos**. Os embriões de todos os outros animais, exceto esponjas, têm três folhetos germinativos, sendo por isso denominados **triblásticos**.

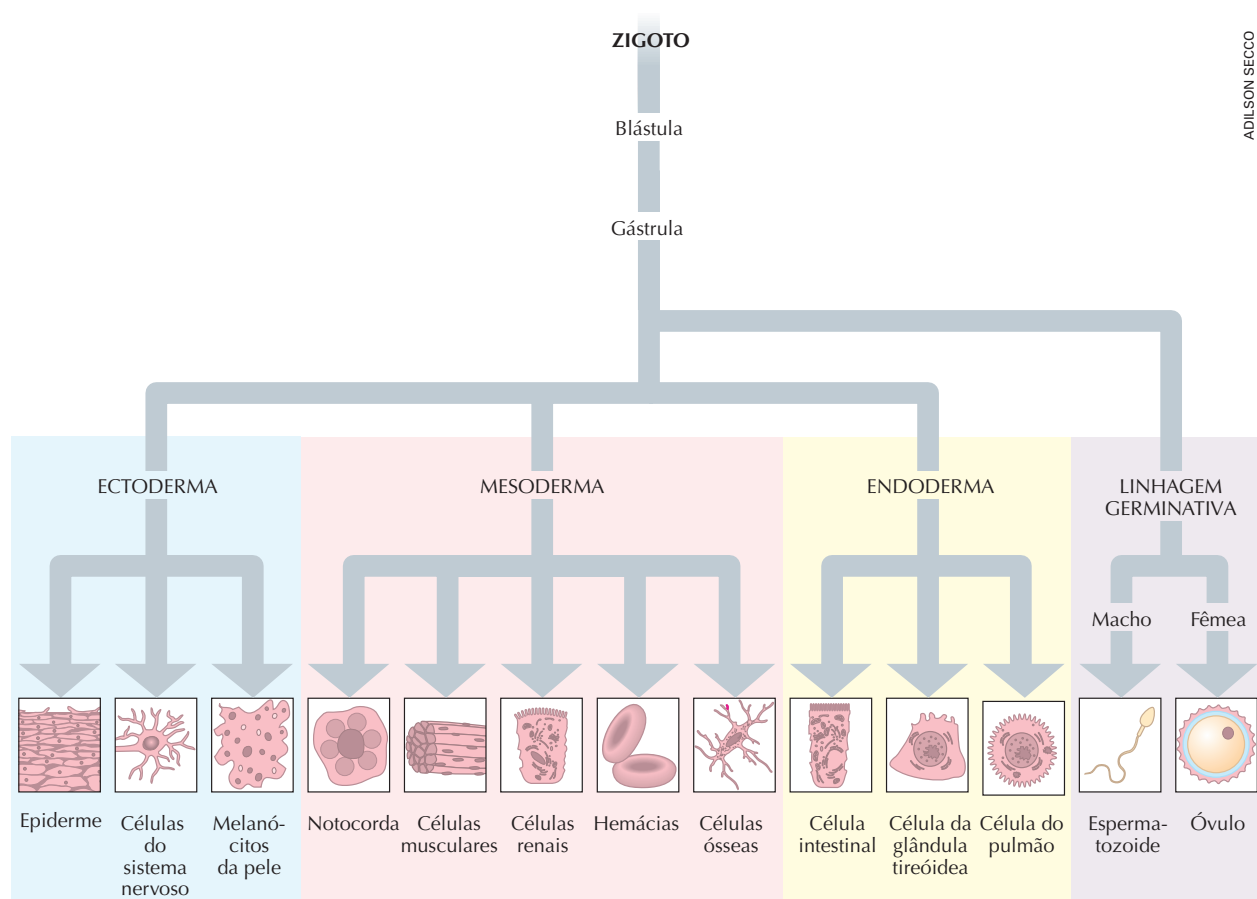


Figura 15.4 Os folhetos germinativos formam todos os tecidos corporais. A figura mostra alguns tipos de células originadas de cada folheto. [Imagens sem escala, cores-fantasia.]

Formação de tecidos e órgãos

1 Formação da nêurula

Nos animais cordados, formam-se duas importantes estruturas cilíndricas, dispostas ao longo do dorso do embrião: o tubo nervoso e a notocorda, também chamada corda dorsal. O estágio de desenvolvimento embrionário em que ocorre a formação do tubo nervoso é denominado **nêurula** (do grego *neuron*, nervo). (Fig. 15.5)

Tubo nervoso

A formação do **tubo nervoso** tem início quando as células do mesoderma paraxial e do endoderma anterior liberam substâncias que induzem as células ectodérmicas acima delas a se diferenciarem. O ectoderma dorsal adquire o aspecto de uma placa achatada, a **placa neural**. O processo progride ao longo do dorso, de modo que a placa neural vai se estendendo em direção à extremidade posterior do embrião. À medida que se forma, a placa neural se dobra, tomando progressivamente o aspecto de uma calha ao longo do dorso embrionário.

A placa neural continua a se dobrar até que suas bordas laterais se tocam e se fundem, isolando um tubo de células ao longo do dorso do embrião, o tubo nervoso, e regenerando o revestimento ectodérmico dorsal. O fechamento do tubo nervoso ocorre de maneira diferente nos diversos grupos de animais. Nas aves, por exemplo, ele progride lentamente desde a cabeça até a cauda. Nos mamíferos, ele começa em diversos pontos ao longo da placa neural; alguns tipos de malformação congênita neurológica são causados por falha no fechamento de uma ou de outra parte. Por exemplo, se ocorre uma falha de fechamento na região posterior do tubo nervoso, em torno do 27º dia de vida do embrião humano, surge uma condição patológica conhecida como espinha bífida, cuja gravidade depende do local e do grau de comprometimento da medula espinal. A falha de fechamento da região anterior do tubo nervoso causa a anencefalia, uma condição fatal. Defeitos de formação do tubo nervoso na espécie humana, considerados em conjunto, são relativamente frequentes, da ordem de 1 caso para cada 500 nascimentos.

Nos embriões de vertebrados, a região anterior do tubo nervoso se dilata muito e forma o encéfalo. O restante do tubo permanece relativamente fino e dá origem à medula espinal.

Notocorda

Ao mesmo tempo que o tubo nervoso está se diferenciando, um conjunto de células se isola do mesoderma e forma um bastão sólido ao longo da região dorsal: a **notocorda** (do grego *notos*, dorso, costas), também chamada de corda dorsal.

A notocorda é uma estrutura típica dos cordados e está presente em algum estágio do desenvolvimento de todos eles, desaparecendo na fase adulta da maioria das espécies. Hoje se sabe que, além de dar suporte ao tubo nervoso, o principal papel da notocorda é orientar a diferenciação do sistema nervoso. Ela libera substâncias que induzem as células do tubo nervoso a se diferenciarem em sistema nervoso central e a controlarem a diferenciação dos nervos ligados à musculatura do futuro animal.

Habilidades sugeridas

- Conhecer os aspectos gerais da formação do tubo nervoso, da notocorda e dos diferentes tecidos embrionários.
- Conhecer os principais estágios do desenvolvimento embrionário do anfioxo, reconhecendo a importância desse organismo como modelo para a embriogênese dos vertebrados.
- Estar informado sobre a existência e o significado de anexos embrionários em répteis, aves e mamíferos.

Conceitos principais

- nêurula
- tubo nervoso
- celoma
- anexo embrionário
- saco vitelínico
- âmnio
- alantoide
- cório



TRANSIÇÃO DE GÁSTRULA PARA NÊURULA EM ANFÍBIO

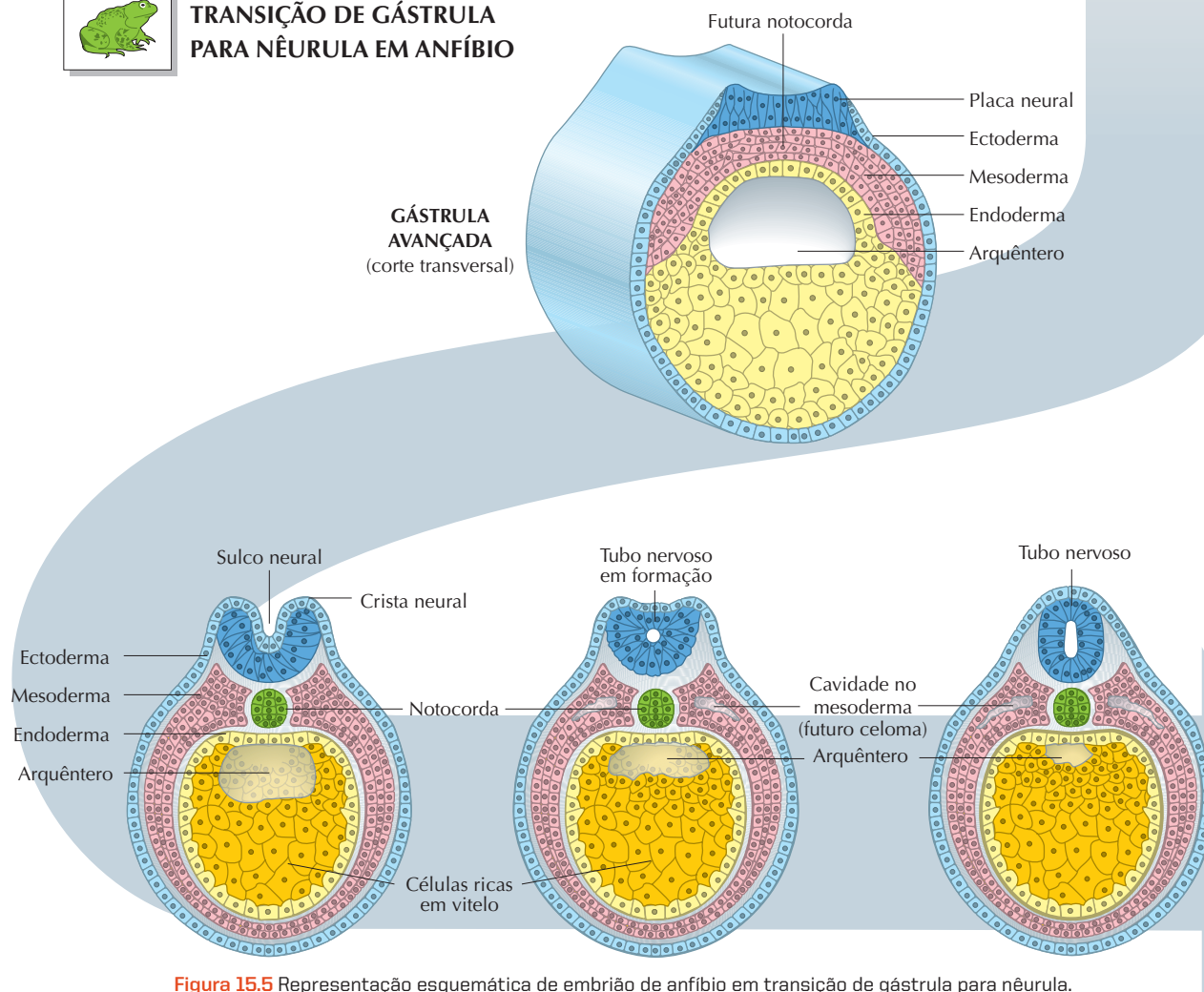


Figura 15.5 Representação esquemática de embrião de anfíbio em transição de gástrula para nêurula. Acima, gástrula avançada em que se vê a placa neural, formada pela especialização do ectoderma dorsal, que dá origem ao tubo nervoso. Abaixo, representação de três estágios da formação do tubo nervoso; simultaneamente, o mesoderma se diferencia, formando a notocorda e dois blocos mesodérmicos, um de cada lado do corpo. [Imagens sem escala, cores-fantasia.] [Baseado em Gilbert, S., 2006.]

Mesoderma e endoderma

Enquanto o tubo nervoso está se formando, o mesoderma desenvolve-se e passa a preencher todos os espaços entre o ectoderma e o endoderma.

O mesoderma localizado ao longo do dorso do embrião, disposto paralelamente ao tubo nervoso e à notocorda em formação e denominado mesoderma paraxial, divide-se em blocos transversais, denominados **somit**s. A segmentação transversal do mesoderma paraxial em somitos determina a formação das vértebras, dos nervos e dos músculos ao longo do corpo. Embora todos os somitos pareçam iguais, eles dão origem a estruturas diferentes nas diversas partes do corpo. Por exemplo, as costelas originam-se dos somitos a partir dos quais se formam as vértebras torácicas; somitos que originam vértebras cervicais (pescoço) e vértebras lombares (abdome) não formam costelas.

A partir de uma região dos somitos diferenciam-se condroblastos, que originam a cartilagem constituinte inicial das vértebras e das costelas, e osteoblastos, que originam os ossos. Outra região se diferencia em células musculares estriadas, que originam os músculos da caixa torácica, da parede do corpo, da língua, dos braços e das pernas. Uma terceira região dos somitos diferencia-se nos componentes celulares da derme dorsal.

Durante o estágio de nêurula, as regiões laterais e ventral do embrião também são ocupadas por mesoderma, cuja porção intermediária origina o sistema urogenital embrionário, constituído pelos rins, pela parcela não germinativa das gônadas e por seus respectivos ductos.



A região ventral do mesoderma separa-se em duas lâminas de células, uma mais externa, em contato com o ectoderma, a somatopleura, e outra mais interna, em contato com o endoderma, a esplanopleura. O espaço entre essas duas camadas mesodérmicas é o **celoma**. (Fig. 15.6)

O endoderma dá origem ao revestimento interno do tubo digestório, além das estruturas que se formam a partir dele: glândulas salivares, pâncreas, fígado e vesícula biliar. Ele forma também o revestimento das brânquias de peixes e anfíbios, e o revestimento dos ductos respiratórios e dos pulmões em anfíbios, répteis, aves e mamíferos.

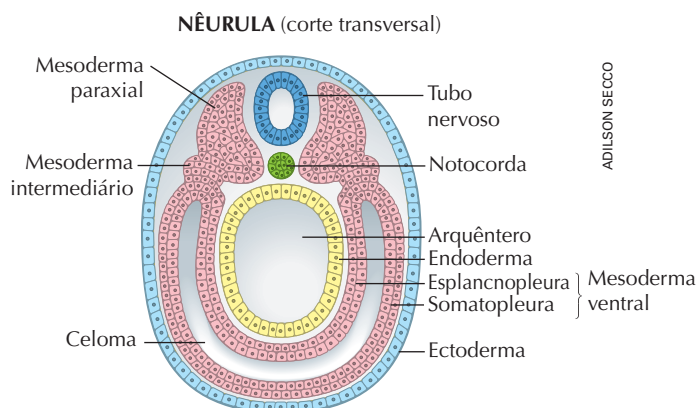


Figura 15.6 Representação esquemática de um embrião de cordado em estágio de nêurula. Note o celoma, a cavidade no mesoderma que surge neste estágio. (Imagem sem escala, cores-fantasia.) (Baseado em Gilbert, S., 2006.)

2

A embriologia do anfioxo tomada como exemplo

O anfioxo (gênero *Branchiostoma*) é um animal marinho que vive semienterrado em praias de areia no sublitoral raso, abaixo da linha das marés. Esse organismo é muito abundante no sul da China, onde é utilizado como alimento; também é encontrado em nossas praias. O anfioxo lembra um peixinho com cerca de 5 centímetros de comprimento, sem cabeça definida nem nadadeiras. As extremidades de seu corpo são afiladas: daí a denominação “**anfioxo**” (do grego *amphi*, duas, e *oxus*, ponta, cauda). Por seu desenvolvimento embrionário relativamente simples, que veremos a seguir, esse animal é muito usado como exemplo didático em Biologia. (Fig. 15.7)

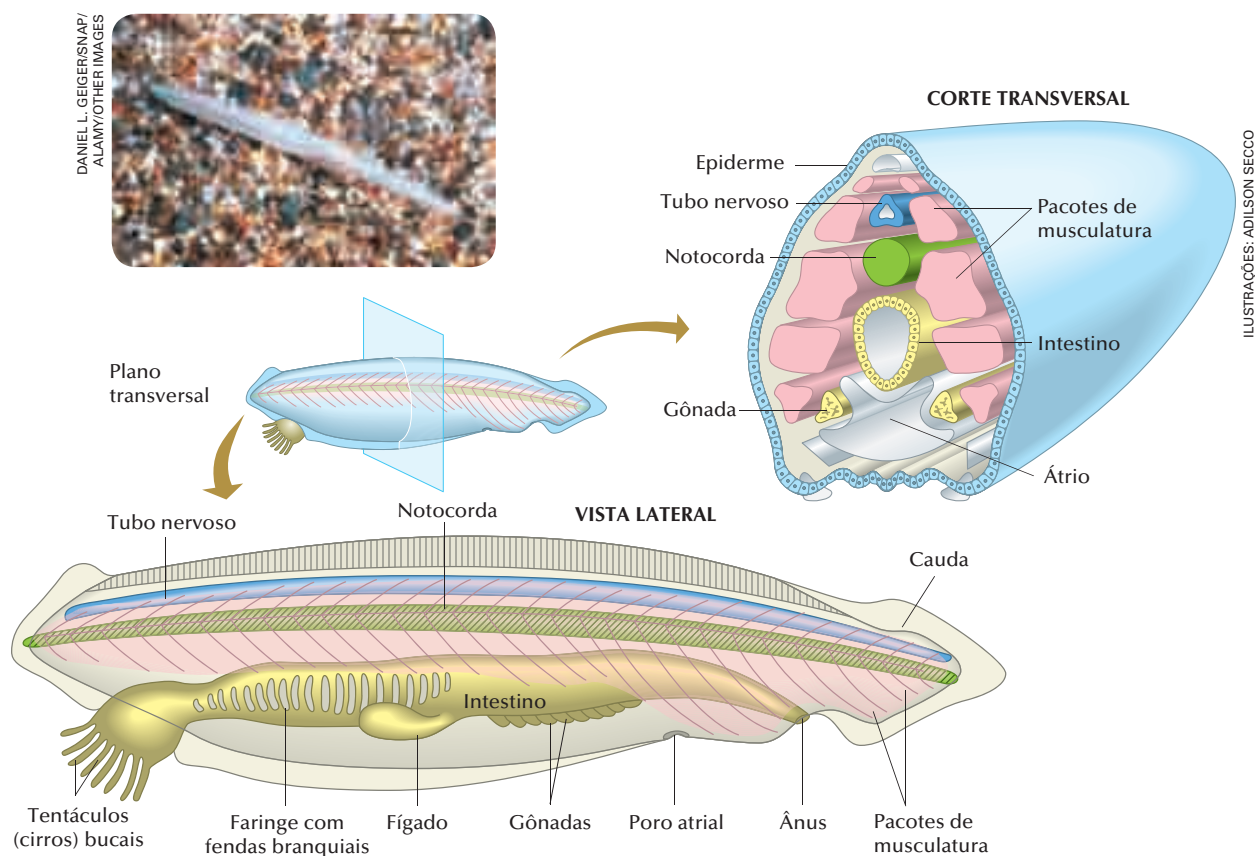


Figura 15.7 Fotografia de um anfioxo (*Amphioxus lanceolatum*) (aumento $\approx 1,3\times$).

Nas representações esquemáticas acima, corte transversal da parte mediana do corpo de um anfioxo; abaixo, vista lateral mostrando alguns de seus órgãos internos, por transparência. (Imagens sem escala, cores-fantasia.) (Baseado em Sherman, I. e Sherman, V., 1970.)

No anfioxo, os sexos são separados e machos e fêmeas eliminam gametas na água do mar, onde a fecundação ocorre [fecundação externa]. O ovo é do tipo oligolécito e apresenta segmentação holoblástica e praticamente igual. No estágio de oito blastômeros, há no polo animal quatro micrômeros ligeiramente menores que os quatro macrômeros do polo vegetativo. A partir daí, as clivagens vão se sucedendo em planos perpendicularmente alternados.

A gastrulação no anfioxo ocorre por embolia; as células da região correspondente ao polo vegetativo são empurradas para dentro, espremendo a blastocela. A gástrula ligeiramente alongada tem inicialmente duas camadas celulares, uma mais externa, o ectoderma, outra mais interna, que alguns autores denominam mesentoderma, para ressaltar o fato de que ela originará, em seguida, o endoderma e o mesoderma. A cavidade revestida pelo mesentoderma é o arquêntero, e o orifício que o comunica com o exterior é o blastóporo. (Fig. 15.8)

ADILSON SECCO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

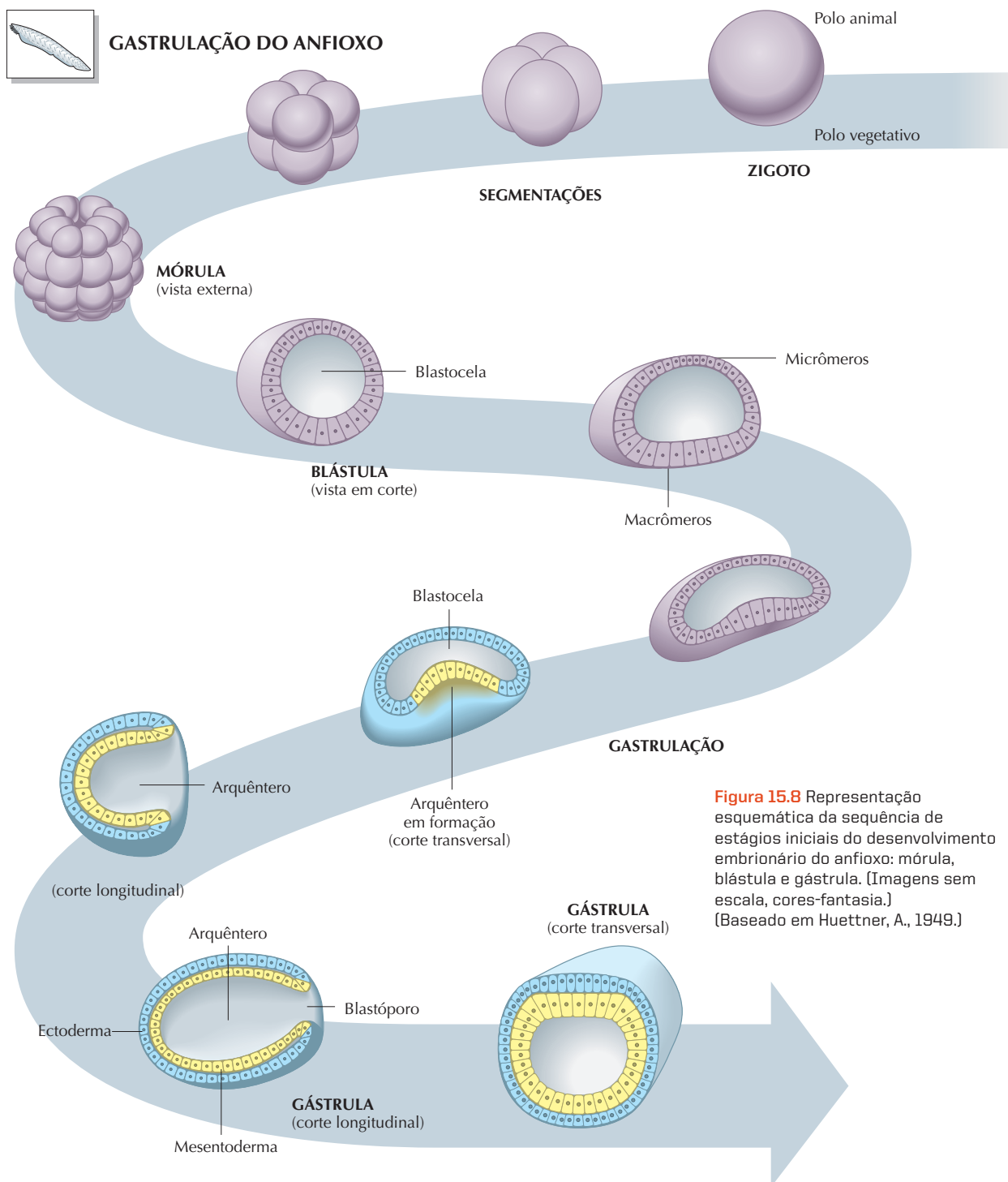


Figura 15.8 Representação esquemática da sequência de estágios iniciais do desenvolvimento embrionário do anfioxo: mórula, blástula e gástrula. (Imagens sem escala, cores-fantasia.) (Baseado em Huettnner, A., 1949.)

Na fase de nêurula, o ectoderma situado ao longo da região dorsal forma o tubo nervoso. O mesentoderma da região dorsal do arquêntero origina a notocorda, bem como os mesodermas paraxial (dividido em somitos), intermediário e lateral, no qual se forma a cavidade celômica. A epiderme do anfióxico adulto é proveniente do ectoderma que revestia o embrião e seu sistema nervoso deriva do tubo nervoso, também de origem ectodérmica. O intestino com suas glândulas (fígado, por exemplo) e as brânquias derivam do endoderma. Toda a musculatura e órgãos internos provêm do mesoderma. (Fig. 15.9)

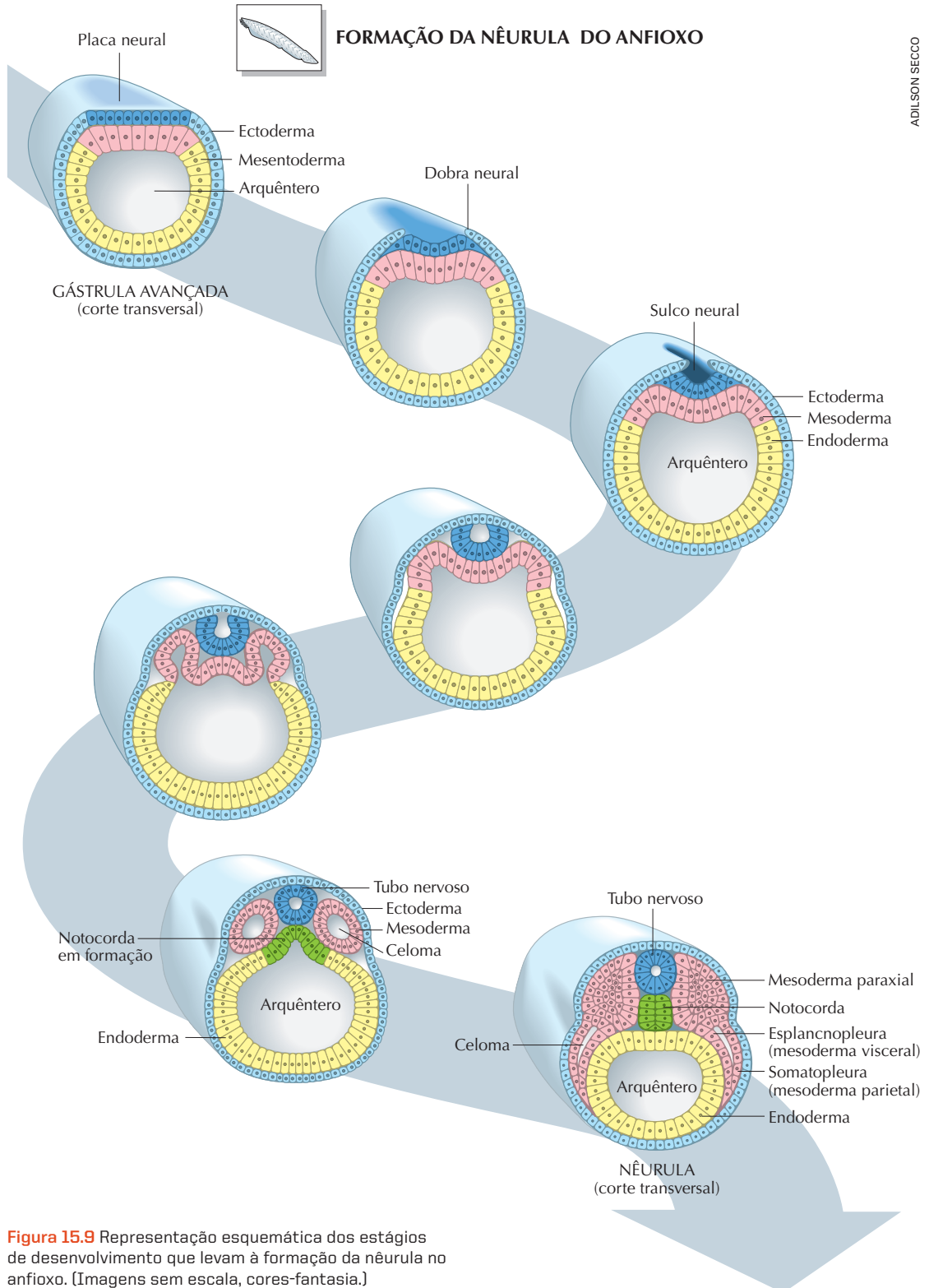


Figura 15.9 Representação esquemática dos estágios de desenvolvimento que levam à formação da nêurula no anfióxico. [Imagens sem escala, cores-fantasia.] (Baseado em Huettner, A., 1949.)

Em répteis, aves e mamíferos, paralelamente ao desenvolvimento dos tecidos embrionários, desenvolvem-se membranas celulares extraembrionárias, os **anexos embrionários**. Estes são: o saco vitelínico (ou vesícula vitelínica), o âmnio, o alantoide e o cório, com funções de proteção do embrião, obtenção de nutrientes do vitelo e armazenamento das excreções.

Saco vitelínico

O **saco vitelínico**, ou vesícula vitelínica, é a primeira membrana extraembrionária a ser formada. Ela origina-se pelo crescimento conjunto do endoderma e da esplanopleura (mesoderma) sobre o vitelo, constituindo uma bolsa membranosa que termina por envolver completamente a massa vitelínica. Assim, o embrião passa a ter uma bolsa de material nutritivo estrategicamente ligada ao seu futuro intestino. A porção mesodérmica do saco vitelínico desenvolve vasos sanguíneos, tornando-se ricamente vascularizada. As células endodérmicas em contato com a massa vitelínica secretam enzimas, que digerem os grãos de vitelo e absorvem os nutrientes resultantes. Estes são transportados pelos vasos sanguíneos, indo nutrir todas as células do embrião.

Mamíferos também apresentam saco vitelínico e outros anexos embrionários. Entretanto, os ovos de mamíferos placentários e marsupiais são pobres em vitelo e o saco vitelínico é pouco desenvolvido. O embrião desses mamíferos desenvolve-se no interior do organismo materno, do qual obtém alimento. A explicação para a presença de saco vitelínico, aparentemente de pouca utilidade para os embriões desses mamíferos, é que se trata de um resquício evolutivo; tais estruturas eram importantes nos ancestrais ovíparos desses animais. (Fig. 15.10)

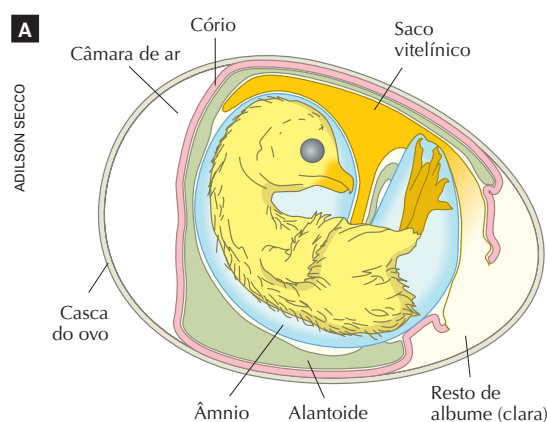
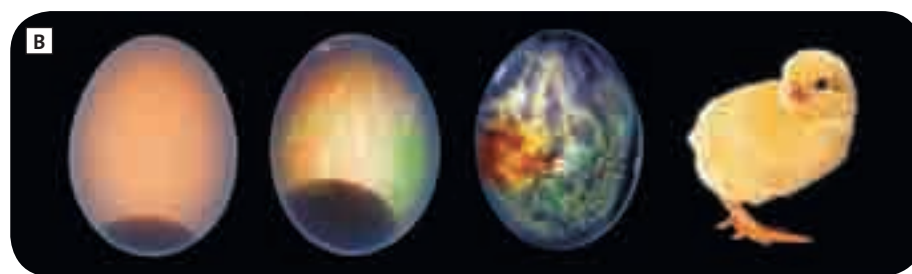


Figura 15.10 A. Representação esquemática de um embrião de galinha com 13 dias de incubação (a 8 dias do nascimento), mostrando a localização dos anexos embrionários. (Imagem sem escala, cores-fantasia.) **B.** Radiografias colorizadas artificialmente de ovo de galinha em desenvolvimento e foto de um pinto recém-nascido. À esquerda, ovo com 6 dias de incubação; no centro, com 12 dias de incubação, mostrando o início da formação dos ossos; à direita, com 18 dias de incubação, faltando 3 dias para o nascimento.



Âmnio

O **âmnio** é uma membrana formada pelo crescimento conjunto do ectoderma e da somatopleura (mesoderma) ao redor do embrião, constituindo uma bolsa membranosa, a **bolsa amniótica**, que o envolve completamente. Essa bolsa é repleta de líquido e tem por função manter o embrião em um ambiente líquido, prevenindo a desidratação e amortecendo choques mecânicos.

Alantoide

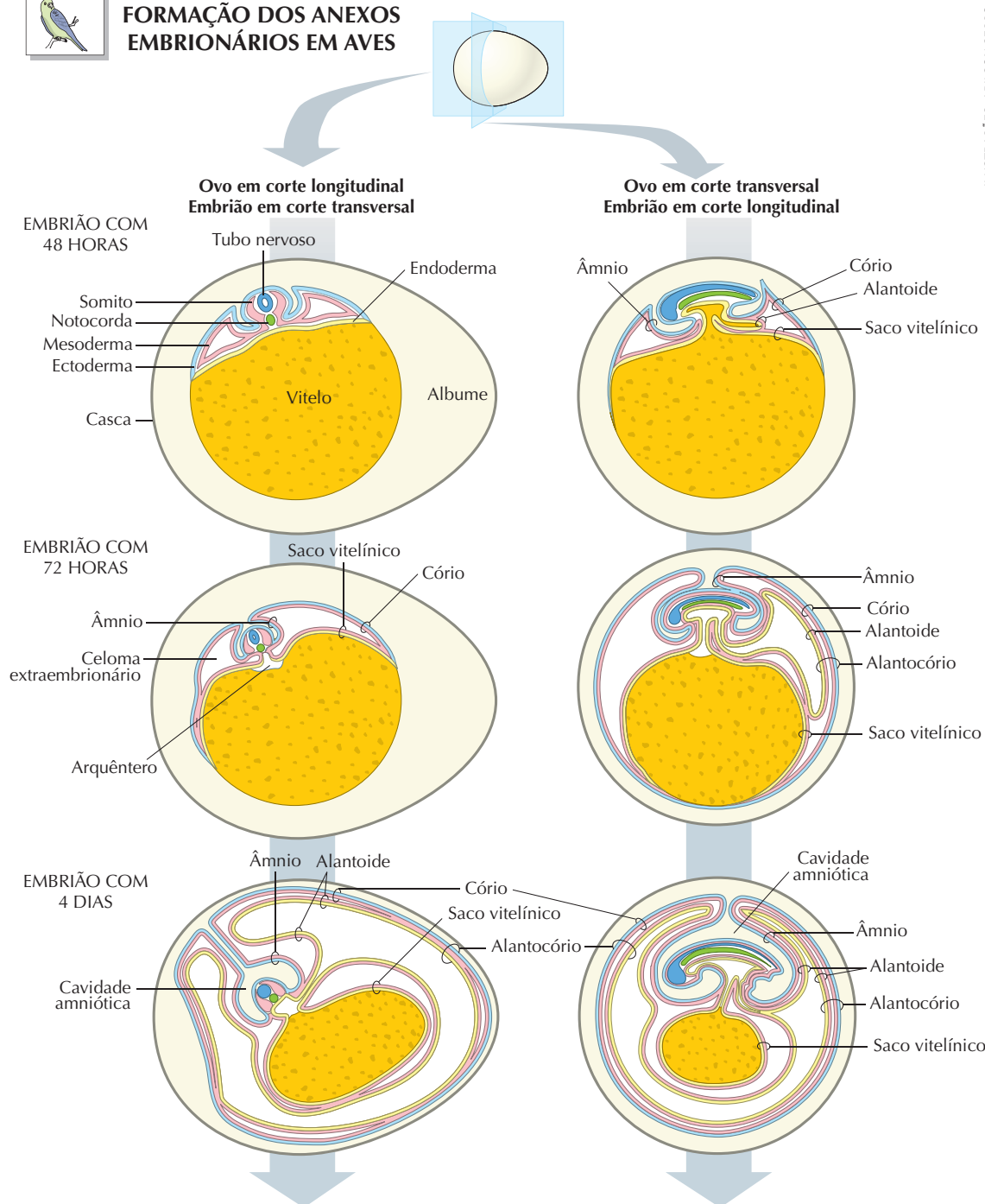
O **alantoide** é uma evaginação membranosa da parede do arquêntero, formada pelo crescimento conjunto de endoderma e esplanopleura. Esse anexo embrionário tem, portanto, a mesma constituição da membrana do saco vitelínico. A principal função do alantoide é armazenar as substâncias excretadas pelos rins do embrião, principalmente ácido úrico. Além disso, o alantoide participa da respiração do embrião em parceria com outro anexo embrionário, o cório.

Cório

O **cório**, ou **serosa**, é uma membrana formada pelo crescimento conjunto da somatopleura e do ectoderma, constituindo uma bolsa membranosa que envolve todos os outros anexos embrionários, inclusive a bolsa amniótica que contém o embrião. O cório se desenvolve e encosta-se à membrana junto à casca. Ao mesmo tempo, o alantoide também cresce e ocupa todo o espaço disponível, de modo que sua face externa entra em contato com o cório junto à casca. O conjunto formado pela associação entre o cório e o alantoide, o **alantocório**, ou corioalantoide, é ricamente vascularizado, o que permite uma eficiente troca de gases entre os tecidos embrionários e o ar ao redor da casca. (Fig. 15.11)



FORMAÇÃO DOS ANEXOS EMBRIONÁRIOS EM AVES



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Figura 15.11 Representação esquemática do desenvolvimento dos anexos embrionários em galinha. À esquerda, três estágios do desenvolvimento de um ovo, em corte longitudinal; o embrião aparece cortado transversalmente. À direita, estágios correspondentes do ovo em corte transversal; o embrião aparece cortado longitudinalmente. Analise a figura acompanhando as explicações no texto. [Imagens sem escala, cores-fantasia.] (Baseado em Houillon, C., 1972.)



QUESTÕES PARA PENSAR E DISCUTIR

Questões objetivas

Considere as alternativas a seguir para responder às questões 1 e 2.

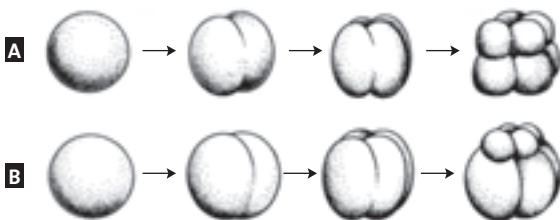
- a) Blástula.
- b) Gástrula.
- c) Mórula.
- d) Nêurula.

1. Como se denomina a fase do desenvolvimento embrionário em que o embrião é uma esfera compacta de células?
2. Em que estágio do desenvolvimento embrionário dos vertebrados se formam os somitos?
3. Os três folhetos germinativos característicos dos embriões de animais triblásticos são
 - a) mórula, blástula e gástrula.
 - b) ectoderma, mesoderma e endoderma.
 - c) micrômero, blastômero e macrômero.
 - d) blastocela, arquêntero e celoma.
4. Qual é o nome da cavidade totalmente revestida por mesoderma, presente no corpo de animais triblásticos e cuja função é acomodar os órgãos internos?
 - a) Arquêntero.
 - b) Blastocela.
 - c) Blastóporo.
 - d) Celoma.
5. Um embrião de vertebrado em fase de nêurula apresenta, do dorso para o ventre, as seguintes estruturas:
 - a) tubo nervoso, tubo digestório e notocorda.
 - b) tubo nervoso, notocorda e tubo digestório.
 - c) notocorda, tubo nervoso e tubo digestório.
 - d) notocorda, tubo digestório e tubo nervoso.

Questões discursivas

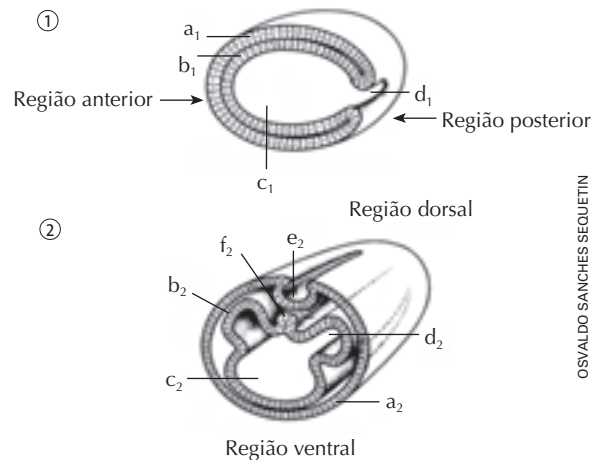
6. As sequências de figuras, abaixo, representam estágios do desenvolvimento inicial de anfioxo (A) e de anfíbio (B).

OSVALDO SANCHES SEQUETIN



Em que diferem os processos que ocorrem em A e B? Como se explica a diferença?

7. Os esquemas a seguir representam dois momentos de embriogênese do anfioxo (1 em corte longitudinal e 2 em corte transversal).



OSVALDO SANCHES SEQUETIN

Com relação ao esquema 1, responda:

- a) Em que fase de desenvolvimento se encontra o embrião representado?
- b) Qual é o nome das partes indicadas?

Com relação ao esquema 2, responda:

- a) Que estágio de desenvolvimento está se iniciando?
- b) Quais são os nomes das partes indicadas?
- c) O esquema 2 representa um embrião em que vários processos estão se iniciando. Utilizando o mesmo tipo de desenho, represente o embrião em um estágio mais avançado, no qual os processos iniciados em 2 estejam finalizados. Coloque legendas.

VESTIBULARES PELO BRASIL

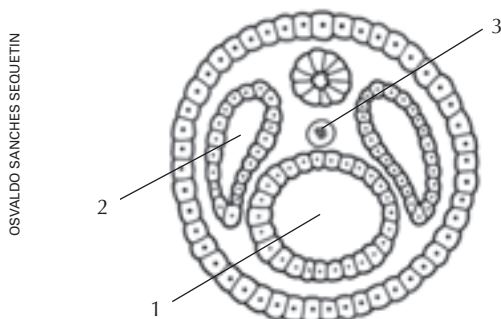
Questões objetivas

1. (Unifap) As células-ovo da maioria das espécies animais apresentam substâncias nutritivas denominadas vitelo, sendo este formado por uma mistura de proteínas e gorduras. Considerando a quantidade e distribuição do vitelo, as células-ovo são classificadas em quatro tipos, conforme agrupadas a seguir. [Dê como resposta a soma dos números associados às proposições corretas.]
 - 01) Ovos telolécitos apresentam grande quantidade de vitelo, distribuída de forma heterogênea no citoplasma. Possuem um polo vegetativo com maior concentração de vitelo e um polo animal que apresenta menos vitelo.
 - 02) Ovos heterolécitos possuem grande quantidade de vitelo, que ocupa praticamente a totalidade da célula.
 - 04) Ovos isolécitos mostram uma pequena quantidade de vitelo, distribuída de forma homogênea no citoplasma.

- 08) Ovos centrolécitos apresentam pequena quantidade de vitelo presente no centro do zigoto.
2. (Uespi) O zigoto que se forma após a fecundação normal inicia um processo de divisão celular conhecido como
- gastrulação.
 - celomação.
 - meiose.
 - clivagem.
 - compactação.
3. (Uece) Na embriogênese, durante o processo de formação dos tecidos e órgãos, os condroblastos — células que originam a cartilagem constituinte inicial das vértebras e das costelas — são diferenciados a partir da seguinte parte de um somito:
- esclerôtom.
 - miotomo.
 - dermatomo.
 - mesômero.
4. (UFC-CE-Adaptado) Quais são as alternativas em que estão relacionados, corretamente, a estrutura definitiva do homem adulto e o folheto embrionário que lhe deu origem?

	Estrutura definitiva	Folheto
a)	Epiderme	Ectoderma
b)	Coração	Mesoderma
c)	Musculatura lisa	Ectoderma
d)	Epitélio do tubo digestivo	Endoderma
e)	Cérebro	Ectoderma

5. (UEMS) Nos vertebrados, ao longo do desenvolvimento embrionário, a notocorda é substituída
- pelo cordão nervoso.
 - pela coluna vertebral.
 - pelo tubo neural.
 - pelo tubo digestivo.
 - pela placa dorsal.
6. (UFSCar-SP) Observe o corte de um embrião, a seguir esquematizado.

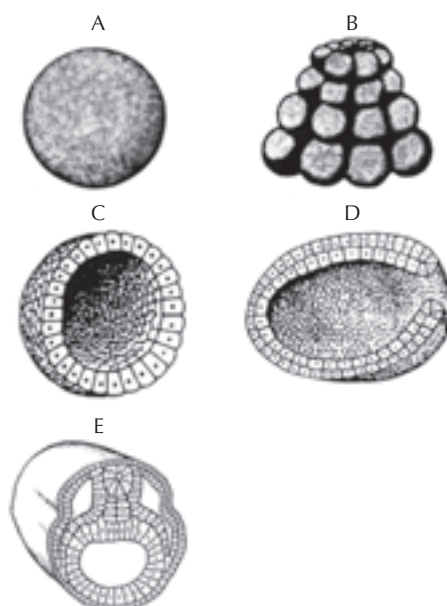


Os Algarismos 1, 2 e 3 representam, respectivamente,

- o arquêntero, o celoma, o tubo neural.
 - o arquêntero, a mórula, o tubo neural.
 - a mórula, a blástula, a notocorda.
 - o arquêntero, o celoma, a notocorda.
 - o celoma, o arquêntero, a notocorda.
7. (UFPR) Por “diferenciação celular”, entende-se:
- a evolução das células que determinam a formação do óvulo humano.
 - a sequência de formação das primeiras fases embrionárias.
 - a transformação celular para formação dos espermatozoides.
 - a formação, a partir dos blastômeros do embrião, dos diversos tipos de células e a disposição desses tipos em diferentes tecidos.
 - o mecanismo celular que dá formação aos meristemas vegetais.
8. (UFPR) Fase do desenvolvimento embrionário caracterizada pelo estabelecimento dos três folhetos germinativos (ectoderma, mesoderma e endoderma) e por intensos movimentos morfogênicos:
- Gastrulação.
 - Clivagem.
 - Morfogênese.
 - Fecundação.
 - Apoptose.

❏ Questão discursiva

9. (Unicamp-SP) As fases iniciais do desenvolvimento embrionário do anfioxo estão representadas nas figuras abaixo.



- Identifique essas fases.
- Descreva as diferenças de cada uma delas em relação à fase anterior.

OSVALDO SANCHES SEQUETIN

Capítulo 16

Desenvolvimento embrionário de mamíferos

O surgimento de um novo ser é realmente extraordinário; em primeiro lugar, as células haploides dos genitores se fundem e originam uma célula diploide, o zigoto. Este dá início ao monumental conjunto de transformações que origina um novo organismo.

Neste capítulo estudaremos o desenvolvimento embrionário dos mamíferos, em particular o desenvolvimento do embrião humano, desde sua formação até o parto.

16.1 Desenvolvimento embrionário em diferentes grupos de mamíferos

Monotremados como o ornitorrinco são ovíparos e o desenvolvimento embrionário ocorre no ovo, fora do corpo da mãe. Marsupiais como o canguru nascem imaturos e completam o desenvolvimento no marsúpio. Placentários como a espécie humana completam o desenvolvimento embrionário dentro do útero materno.

16.2 Embriologia dos mamíferos placentários

Nos mamíferos placentários, o desenvolvimento embrionário ocorre dentro do útero materno. O embrião liga-se ao organismo materno por meio da placenta.

16.3 Parto

Na espécie humana, o parto natural consiste na expulsão do feto por contrações rítmicas da musculatura uterina e ocorre ao fim do nono mês de gravidez, cerca de 266 dias após a fecundação.

De uma célula a seis toneladas

Por incrível que possa parecer, um elefante de 6 toneladas começa a vida como uma célula-ovo de apenas 0,15 mm de diâmetro. Esse notável desenvolvimento ocorre graças à ação conjunta de três processos: multiplicação, diferenciação celular e crescimento.

2 meses

O embrião de elefante mede aproximadamente 0,6 cm de comprimento e pesa 0,04 g. Ele pode ser detectado por meio de uma ultrassonografia.

3 meses

O embrião, agora com aproximadamente 2 cm e 2 g, já apresenta esboços das pernas e da tromba.

4 meses

Nessa fase do desenvolvimento, o elefante já é considerado um feto. Com apenas 6 cm de comprimento, ele se assemelha aos pais, mas a cabeça é muito grande, correspondendo a cerca de 40% do tamanho.

5 meses

Nessa fase, o feto tem aproximadamente 10 cm de comprimento e 100 g. Diversos órgãos corporais estão se desenvolvendo, entre eles os pulmões.

Diferentes períodos de gestação

Nos mamíferos placentários, o tempo de gestação geralmente está relacionado ao tamanho do animal.



19 meses

Com cerca de 63,5 kg e já completamente formado, o feto ganha mais de 0,5 kg de massa corporal a cada dia.

22 meses

Ao nascer, o elefante tem cerca de 90 cm de altura e 120 kg de massa corporal. Ele ainda não enxerga perfeitamente e não controla bem os movimentos da tromba.

14 meses

O feto apresenta pálpebras com cílios e pelos ao redor da boca e na cauda. As orelhas são bem evidentes, com cerca de 8 cm de comprimento.

12 meses

O feto de elefante tem aproximadamente 46 cm de comprimento e 12 kg, quase o tamanho de um cão adulto da raça *Cocker spaniel*. Ele já consegue se movimentar e "chuta" o útero da mãe.

A baleia-azul é uma exceção; seu período de gestação é relativamente curto.

360 dias

Os elefantes têm um filhote por vez e o período de gestação mais longo entre os mamíferos.

660 dias

Baleia-azul

Elefante

Para pensar

Um ovo megalécito de ornitorrinco, um mamífero ovíparo, tem cerca de 1 cm de diâmetro, enquanto um ovo de elefante, um mamífero placentário, tem aproximadamente 150 micrometros de diâmetro. Que relação se pode fazer entre o tipo de ovo e o tipo de desenvolvimento nesses animais?

Desenvolvimento embrionário em diferentes grupos de mamíferos

Habilidade sugerida

- Identificar as diferenças básicas entre os desenvolvimentos embrionários de monotremados (Prototheria), marsupiais (Metatheria) e placentários (Eutheria).

Conceitos principais

- monotremados
- marsupiais
- placentários

Todos os mamíferos têm fecundação interna, mas o tipo de desenvolvimento embrionário varia entre os grupos de mamíferos, Prototheria (monotremados), Metatheria (marsupiais) e Eutheria (placentários), sendo esta uma das principais características que os diferencia.

1 Monotremados

Monotremados (clado Prototheria) são mamíferos encontrados atualmente apenas na Austrália e na Nova Guiné. Seus principais representantes são os ornitorrincos e os equidnas, que têm ovos megalécitos semelhantes aos dos répteis e, como estes, são ovíparos. O desenvolvimento embrionário dos monotremados é praticamente idêntico ao dos répteis.

Fêmeas de ornitorrinco fazem um ninho subterrâneo junto a rios, com entrada submersa, onde põem dois ou três ovos dotados de casca coriácea, cada um medindo entre 1 e 1,5 centímetro de diâmetro. Se os ovos tiverem sido fecundados, no momento da postura já conterão um embrião em estágio de neurula, com os anexos embrionários em processo de diferenciação. A fêmea incuba os ovos até a eclosão, quando a casca se rompe e nascem os filhotes, ainda imaturos. Estes se alimentam de leite produzido por glândulas mamárias localizadas no ventre da fêmea que, no entanto, não tem mamilos: o leite escorre entre os pelos e é lambido pelos filhotes. (Fig. 16.1)

2 Marsupiais

Marsupiais (clado Metatheria) são mamíferos típicos da Austrália; seus representantes mais conhecidos são os cangurus, os coalas e os lobos-da-tasmânia. Na América do Sul, há poucas espécies de marsupiais, representadas pelos gambás e cuícas. As fêmeas desse grupo em geral possuem uma bolsa de pele no ventre – o **marsúpio** – onde os filhotes completam o desenvolvimento após serem expelidos ainda imaturos do útero materno.

HAUKE/BLICKWINKEL/
ALAMY/OTHER IMAGES



SCHMIDBAUER/BLICKWINKEL/
ALAMY/OTHER IMAGES

Figura 16.1 Mamíferos monotremados: à esquerda, ornitorrinco e à direita, equidna. Esses animais têm características consideradas “primitivas”, como cloaca (abertura única comum aos sistemas digestório e urogenital) e ovos que se desenvolvem externamente ao corpo da mãe. Entretanto, como os demais mamíferos, têm glândulas mamárias e pelos.

O embrião dos marsupiais começa o desenvolvimento no interior do corpo da mãe, inicialmente nutrindo-se do pouco vitelo armazenado no ovo, do tipo oligolécito. No decorrer do desenvolvimento, forma-se um saco vitelínico que entra em contato com a parede uterina, originando uma placenta rudimentar, a chamada placenta vitelínica, por meio da qual o embrião passa a nutrir-se, a respirar e a eliminar as excreções. Após um curto período de gestação, entre 12 e 14 dias no gambá sul-americano e entre 38 e 40 dias nos cangurus australianos, nascem filhotes ainda incompletamente formados.

Na maioria dos marsupiais, o filhote recém-nascido agarra-se aos pelos da mãe e desloca-se até o marsúpio, que cobre os mamilos, onde desembocam glândulas mamárias. O filhote abocanha um dos mamilos e permanece preso a ele, sugando leite, até completar o desenvolvimento embrionário. (Fig. 16.2)



Figura 16.2 Mamíferos marsupiais. **A.** Cuíca, um marsupial sul-americano, com filhotes. **B.** Canguru com filhote no marsúpio.

3 Placentários

Os **placentários** (clado Eutheria) compreendem 95% das espécies de mamíferos; são os cães, gatos, girafas, cavalos, elefantes, coelhos, ratos, dentre outros, além de nossa própria espécie. O ovo oligolécito dos mamíferos placentários tem segmentação holoblástica e apresenta algumas particularidades, mencionadas adiante.

O desenvolvimento embrionário ocorre no interior do **útero** materno. Os embriões em desenvolvimento ligam-se à parede uterina por meio da **placenta**, órgão formado pela conjugação de tecidos maternos e embrionários. Pela placenta, o embrião recebe nutrientes e gás oxigênio do sangue da mãe e elimina gás carbônico e excreções resultantes de seu metabolismo. (Fig. 16.3)



Figura 16.3 Gnu em trabalho de parto. O desenvolvimento embrionário dos placentários ocorre inteiramente no útero materno.

Embriologia dos mamíferos placentários

Habilidades sugeridas

- Compreender a formação dos folhetos germinativos e dos anexos embrionários no desenvolvimento embrionário de mamíferos.
- Explicar, em linhas gerais, o processo de nidação e o papel da zona pelúcida.
- Conceituar placenta e explicar sua função.

Conceitos principais

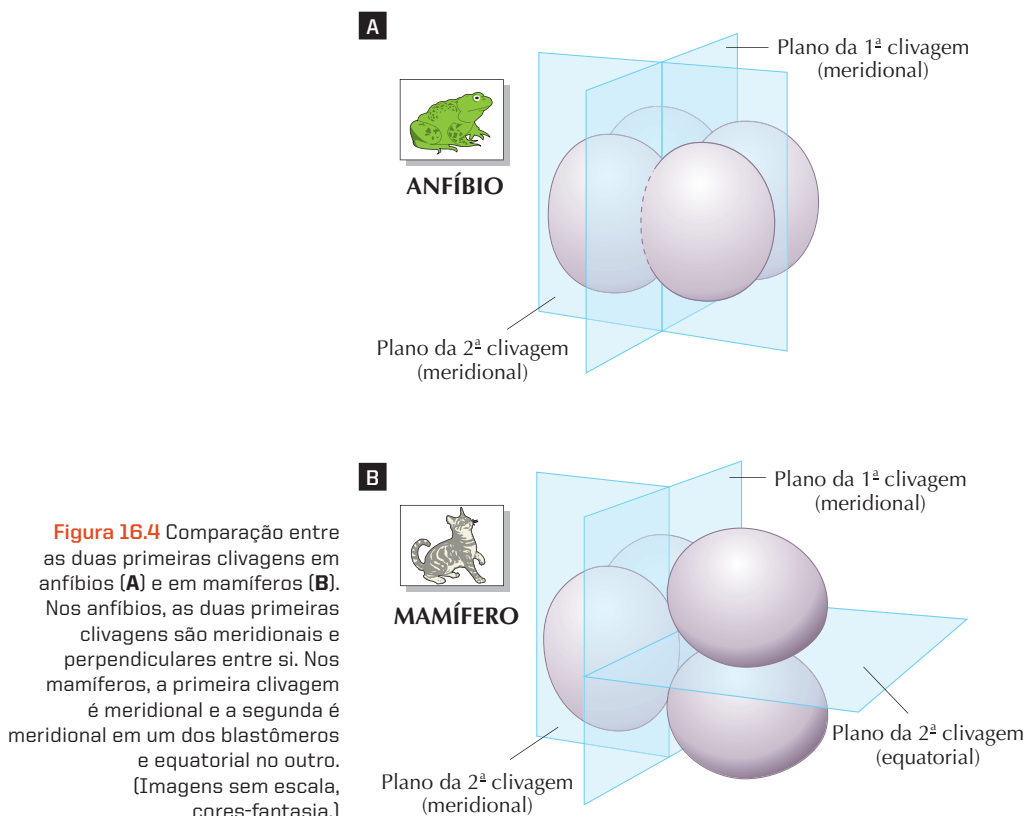
- blastocisto
- nidação
- gonadotrofina coriônica
- placenta
- cordão umbilical

1 Segmentação e formação do blastocisto

Nos mamíferos, o que chamamos de “óvulo” é, na verdade, um ovócito secundário estacionado na metáfase II da meiose. Como já foi mencionado no capítulo 14, a meiose se completa somente se houver fecundação.

O ovócito secundário, liberado do ovário, encontra-se revestido por um envoltório glicoproteico, a **zona pelúcida**, e por células foliculares ovarianas. Junto ao ovário encontra-se a extremidade alargada e geralmente franjada da tuba uterina, onde o ovócito penetra. Para que haja gravidez, a fecundação deve ocorrer logo que o ovócito é liberado, em geral, na porção superior do oviduto. Se a fecundação ocorre, a meiose do ovócito chega ao final e surge o zigoto, primeira célula do futuro mamífero. O desenvolvimento inicia-se ainda durante o trajeto do zigoto em direção ao útero (veja na figura 16.10).

A segmentação nos mamíferos é holoblástica e igual, isto é, o zigoto divide-se totalmente e os blastômeros formados têm aproximadamente o mesmo tamanho. A orientação das segmentações é **rotacional**; isso quer dizer que o plano de divisão de um dos dois primeiros blastômeros é longitudinal, como o da que dividiu o zigoto, e perpendicular a ele, mas o outro blastômero divide-se segundo um plano transversal. Os blastômeros não se dividem sincronicamente, como ocorre na maioria dos animais. Por isso, o número de células dos embriões de mamífero não aumenta em progressão geométrica (2, 4, 8, 16, 32...) como ocorre no anfioxo e em anfíbios, por exemplo. (Fig. 16.4)



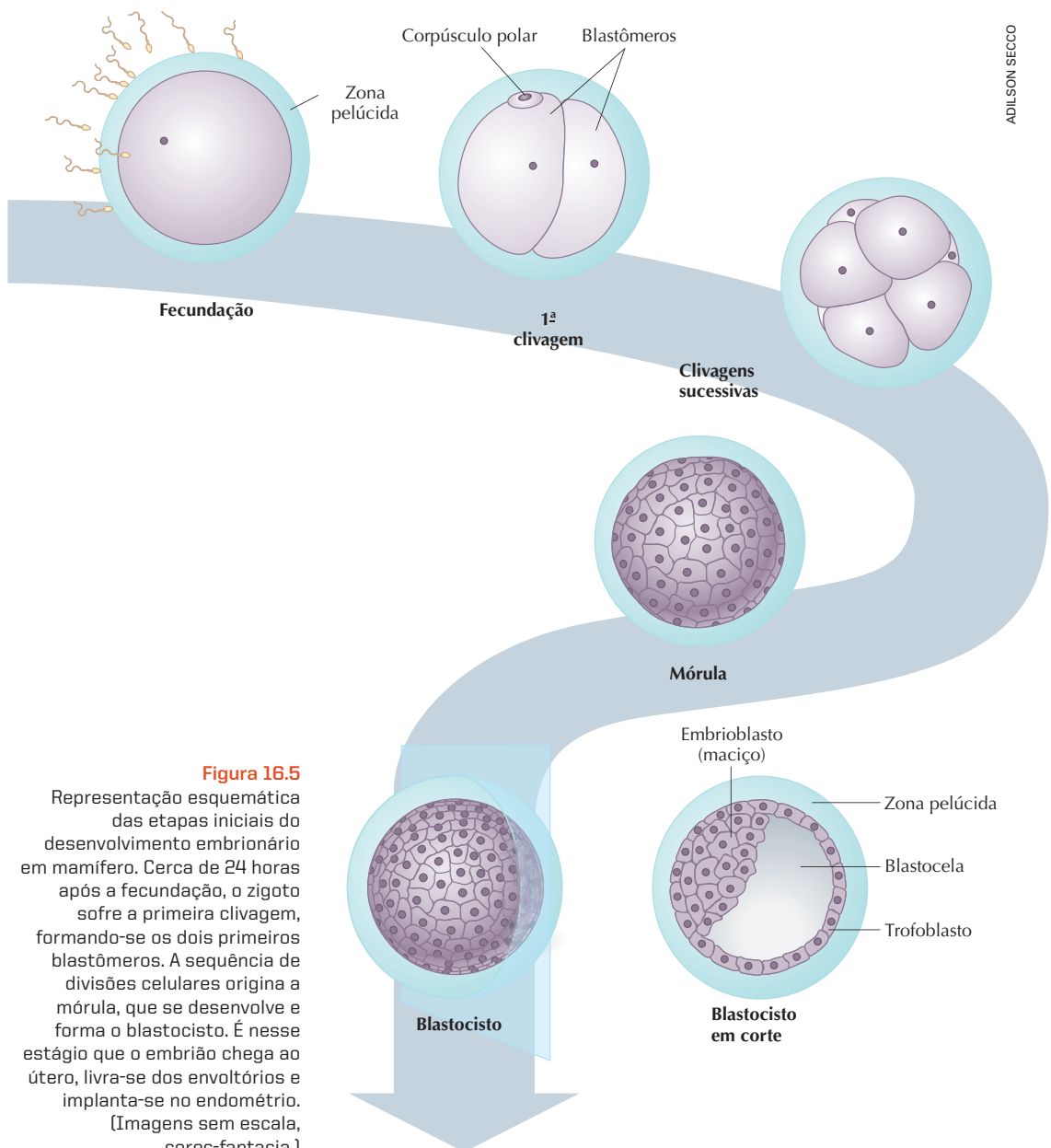
ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Até o estágio de oito células, os blastômeros estão unidos frouxamente entre si; a partir daí, as células embrionárias que surgem passam a estabelecer contato mais íntimo, o que transforma o embrião em uma bola compacta de células, a mórula. As células mais externas da mórula desenvolvem junções celulares fortes, do tipo zonas de oclusão, que as colam firmemente umas às outras, de modo comparável às costuras entre os gomos de uma bola de futebol. As células mais internas desenvolvem junções tipo *gap*, que facilitam o intercâmbio de íons e de pequenas moléculas entre elas.

O aparecimento de uma cavidade cheia de líquido no interior do embrião, a blastocela, marca o início do estágio de blástula, que na espécie humana ocorre por volta do quarto ou quinto dia depois da fecundação. A blástula dos mamíferos, denominada **blastocisto**, é delimitada por uma camada de células, o **trofoblasto** (ou trofotoderma), e apresenta um aglomerado celular que forma uma saliência na parede interna, chamada **embrioblasto**, ou massa celular interna.

O embrião chega ao útero 3 dias após a concepção, já no estágio de mórula. Por volta do 7º dia após a concepção, em estágio de blastocisto, ele se implanta na mucosa uterina, fenômeno chamado de **nidação**. Com a nidação do blastocisto tem início a **gravidez**, ou gestação, que se encerrará com o parto, a expulsão do bebê do útero materno. Na espécie humana, a gravidez dura aproximadamente nove meses ou 40 semanas. (Fig. 16.5)



ADILSON SECCO

Figura 16.5
Representação esquemática das etapas iniciais do desenvolvimento embrionário em mamífero. Cerca de 24 horas após a fecundação, o zigoto sofre a primeira clivagem, formando-se os dois primeiros blastômeros. A sequência de divisões celulares origina a mórula, que se desenvolve e forma o blastocisto. É nesse estágio que o embrião chega ao útero, livra-se dos envoltórios e implanta-se no endométrio. [Imagens sem escala, cores-fantasia.]

O desenvolvimento embrionário nos mamíferos foge ao padrão geral dos outros vertebrados que têm ovos oligolécitos. Uma explicação para isso é a herança evolutiva: muitas das características embrionárias dos mamíferos foram herdadas de ancestrais répteis que tinham ovos megalécitos com desenvolvimento externo, semelhante ao dos répteis e aves atuais. Os tipos de movimentos celulares da gastrulação, que em répteis e aves são adaptações à grande quantidade de vitelo dos ovos, estão presentes também nos mamíferos, apesar de seus ovos terem pouco vitelo. Pode-se imaginar o desenvolvimento embrionário dos mamíferos placentários como o de um ovo de ave ou réptil que, hipoteticamente, não tivesse vitelo. Entretanto, uma característica particular do desenvolvimento dos mamíferos placentários é que os anexos embrionários tiveram de ser readaptados para a vida intrauterina, com formação da placenta.

O desenvolvimento do embrião dos mamíferos ocorre simultaneamente à sua implantação no útero. Entretanto, por razões didáticas, estudaremos os dois processos separadamente, descrevendo primeiro a formação do embrião para em seguida acompanhar o processo de sua implantação no útero. (Fig. 16.6)

ADILSON SECCO

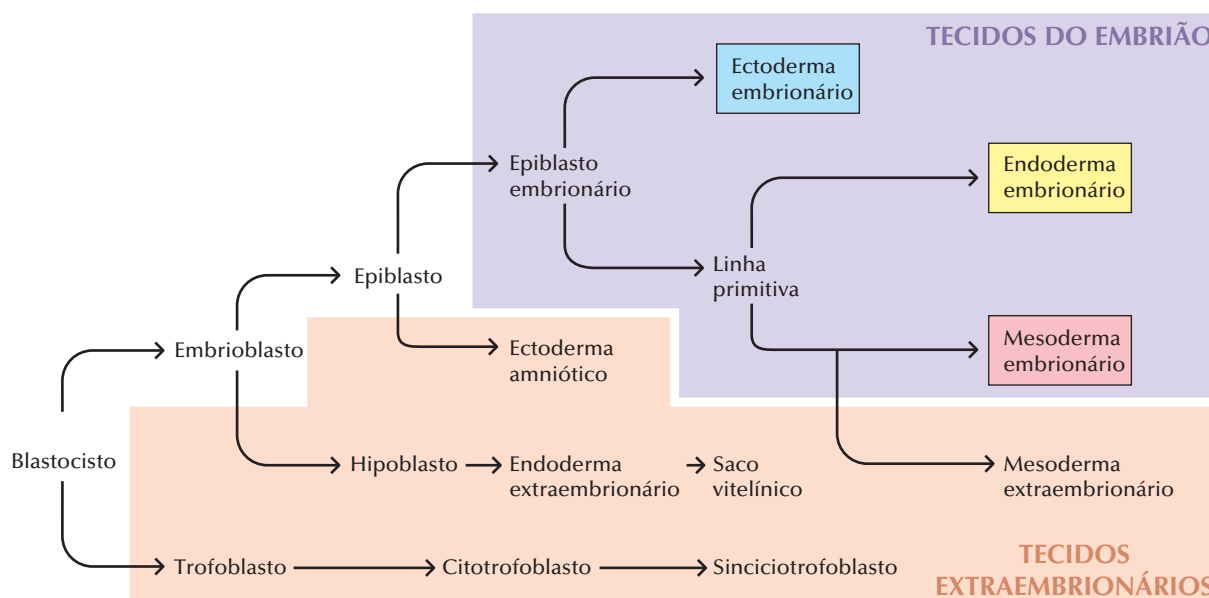


Figura 16.6 Quadro-resumo do desenvolvimento embrionário humano, apresentando a origem dos tecidos embrionários e extraembrionários. (Baseado em Gilbert, S., 2000.)

Formação dos folhetos germinativos

Ao se implantar no útero, o embrião de mamífero é uma bola de células, com uma massa celular interna e uma cavidade cheia de líquido. Como dito anteriormente, a parede da bola é chamada trofoblasto, a massa celular interna é o embrioblasto e a cavidade interna é a blastocela.

O primeiro tecido a surgir no desenvolvimento embrionário de um mamífero é o **hipoblasto**, ou endoderma primitivo, formado por delaminação da camada celular em contato com a blastocela. As células do hipoblasto crescem e delimitam toda a blastocela, originando o saco vitelínico; nos mamíferos, essa estrutura praticamente não tem função, uma vez que o ovo tem pouco vitelo.

O restante do embrioblasto, após a diferenciação do hipoblasto, passa a ser chamado de **epiblasto**, ou ectoderma primitivo. Em seu interior aparece uma cavidade, a cavidade amniótica, preenchida por um fluido, o líquido amniótico. A porção de células entre as bolsas que revestem a cavidade amniótica e o saco vitelínico é o **epiblasto embrionário**, ou disco embrionário, a partir do qual se formam todos os tecidos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Formação dos tecidos extraembrionários

À medida que o desenvolvimento progride, o embrião dos mamíferos é gradativamente envolvido pela bolsa amniótica, que o mantém hidratado e protegido de eventuais choques mecânicos. Na parte ventral do embrião, ao lado do saco vitelínico, forma-se uma pequena bolsa, o alantoide, cuja membrana tem a mesma constituição que a do saco vitelínico (endoderma e mesoderma extraembrionário). O alantoide, que em aves e répteis tem a função de acumular as excreções embrionárias até a eclosão do ovo, é pouco desenvolvido nos mamíferos placentários; nestes animais, as excreções embrionárias são eliminadas diretamente na corrente sanguínea materna. Em muitos mamíferos, incluindo nossa espécie, o alantoide contribui na formação dos vasos sanguíneos do cordão umbilical. O crescimento do mesoderma extraembrionário, juntamente com o trofoblasto, origina o cório, anexo embrionário que envolverá o embrião e os outros anexos e formará a parte fetal da placenta. (Fig. 16.7)

O desenvolvimento embrionário que acabamos de descrever ocorre na parede uterina, uma vez que o embrião se implanta nesse órgão ainda na fase de blastocisto. Vejamos agora como ocorre essa implantação, processo denominado nidação.

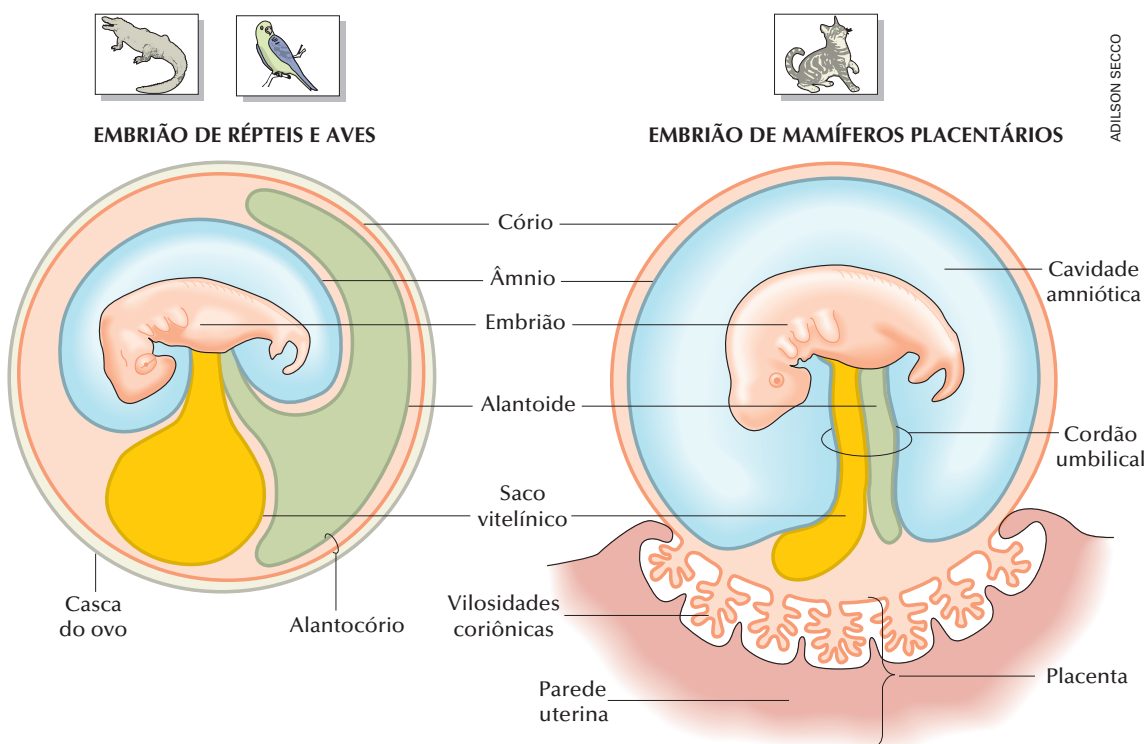


Figura 16.7 Representação esquemática em que se compara o embrião de aves e répteis, que se desenvolve no interior de ovos, com o de mamíferos placentários, que se desenvolve dentro do organismo materno. Note as semelhanças entre os anexos embrionários, o que se explica pelo parentesco evolutivo desses animais. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)

3 Nidação

Para que ocorra a implantação do embrião no útero, processo chamado **nidação**, o embrião precisa abandonar o envoltório de glicoproteínas no qual se encontra, a zona pelúcida. Dois processos contribuem para isso: o aumento da pressão osmótica do fluido que preenche a blastocela e a digestão da zona pelúcida pelo próprio embrião.

O aumento da pressão osmótica ocorre pelo bombeamento de íons de sódio (Na^+) para a blastocela por meio de bombas iônicas, presentes nas membranas das células que revestem essa cavidade. A digestão da zona pelúcida ocorre por ação da estripsina, enzima semelhante à tripsina que age em nosso intestino, produzida por células do trofoblasto.

O enfraquecimento da zona pelúcida, causado pela digestão de parte de seus componentes, e o aumento de volume do embrião, em decorrência da absorção de água pela blastocela, provocam o rompimento da zona pelúcida e a saída do embrião de seu interior. Agora em contato direto com as células do revestimento uterino (endométrio), o embrião é capturado por uma rede de proteínas fibrosas (colágeno, laminina e fibronectina).

As células do trofoblasto, por sua vez, aderem ao endométrio por meio de outras proteínas, as integrinas, constituintes de sua membrana plasmática. (Fig. 16.8)

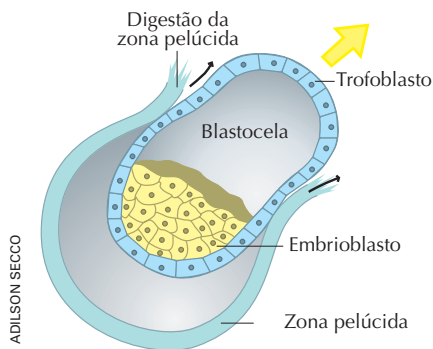
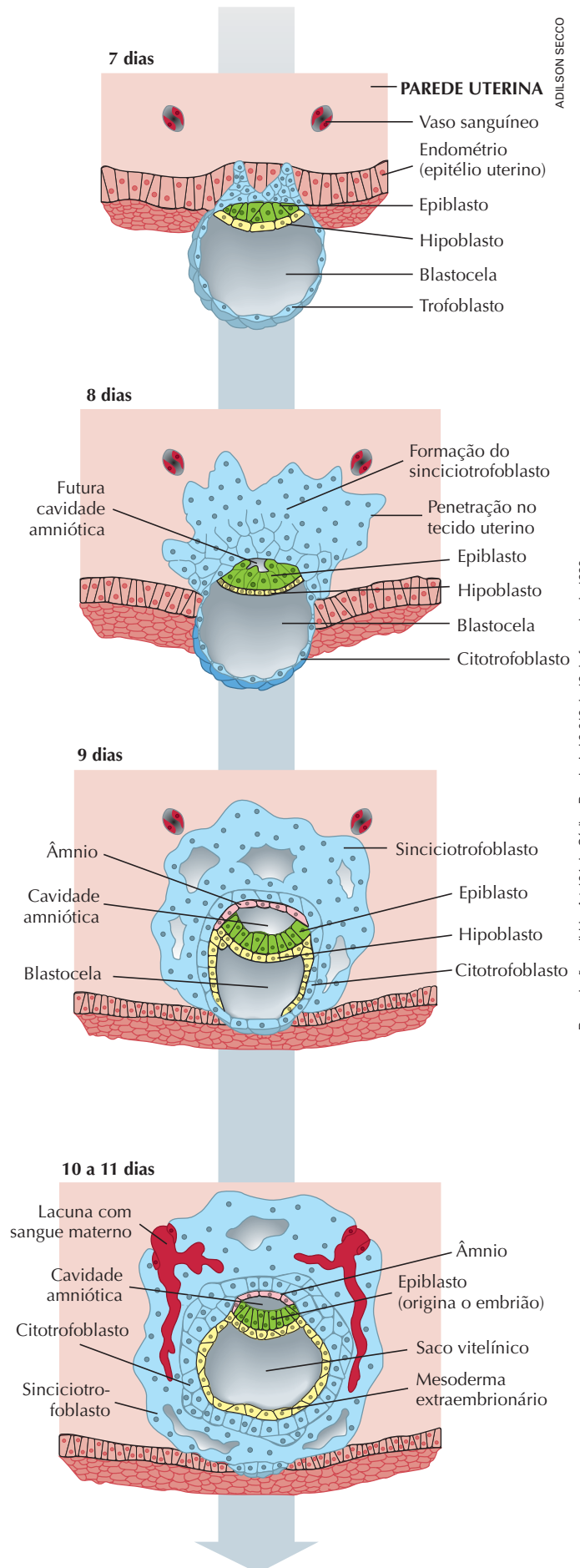


Figura 16.8 Representação esquemática de embrião em corte, mostrando blastocisto saindo da zona pelúcida. (Imagem sem escala, cores-fantasia.)

Enquanto as células do embrioblasto multiplicam-se e realizam os movimentos de gastrulação, são produzidos os tecidos extraembrionários que permitirão o desenvolvimento do embrião no útero materno. As células do trofoblasto aderidas ao endométrio se dividem, originando novas células, cujos núcleos se multiplicam sem a subsequente divisão do citoplasma. Essas células originam, assim, um sincício celular, isto é, uma massa citoplasmática contendo inúmeros núcleos, o **sinciciotrofoblasto**. A camada de células ainda individualizadas do trofoblasto que envolve o embrião é denominada **citotrofoblasto**.

O sinciciotrofoblasto secreta enzimas que digerem os tecidos do útero, abrindo cavidades no endométrio, por onde se infiltra e cresce, ramificando-se e ocupando as cavidades abertas. Como reação a essa invasão pelo sinciciotrofoblasto, a parede uterina sofre alterações celulares e vasculares, havendo proliferação de vasos sanguíneos na região, originando uma estrutura altamente vascularizada, a **decídua uterina**. As enzimas secretadas pelas projeções do sinciciotrofoblasto destroem as paredes dos vasos sanguíneos ao seu redor, formando lacunas de sangue na decídua uterina, por onde passa a circular sangue materno, em contato íntimo com o tecido embrionário. (Fig. 16.9)

Figura 16.9 Representação esquemática das etapas de implantação do blastocisto humano (em corte) no útero, processo denominado nidação. Por volta do 11º dia ou 12º dia de vida, o embrião já está totalmente imerso na parede uterina. A próxima etapa é a formação da placenta. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)



Células mesodérmicas originárias da parede do saco vitelínico e do hipoblasto invadem as projeções trofoblásticas e produzem, no interior destas, os vasos sanguíneos que levarão nutrientes das lacunas sanguíneas maternas para o corpo do embrião. O órgão extraembrionário constituído por tecido trofoblástico e pelos vasos sanguíneos de origem mesodérmica é o **cório**. Suas projeções que se ramificam para dentro da parede uterina são denominadas **vilosidades coriônicas**. A associação entre o cório e a decidua uterina é a **placenta**, cuja formação estudaremos no item seguinte. (Fig. 16.10)

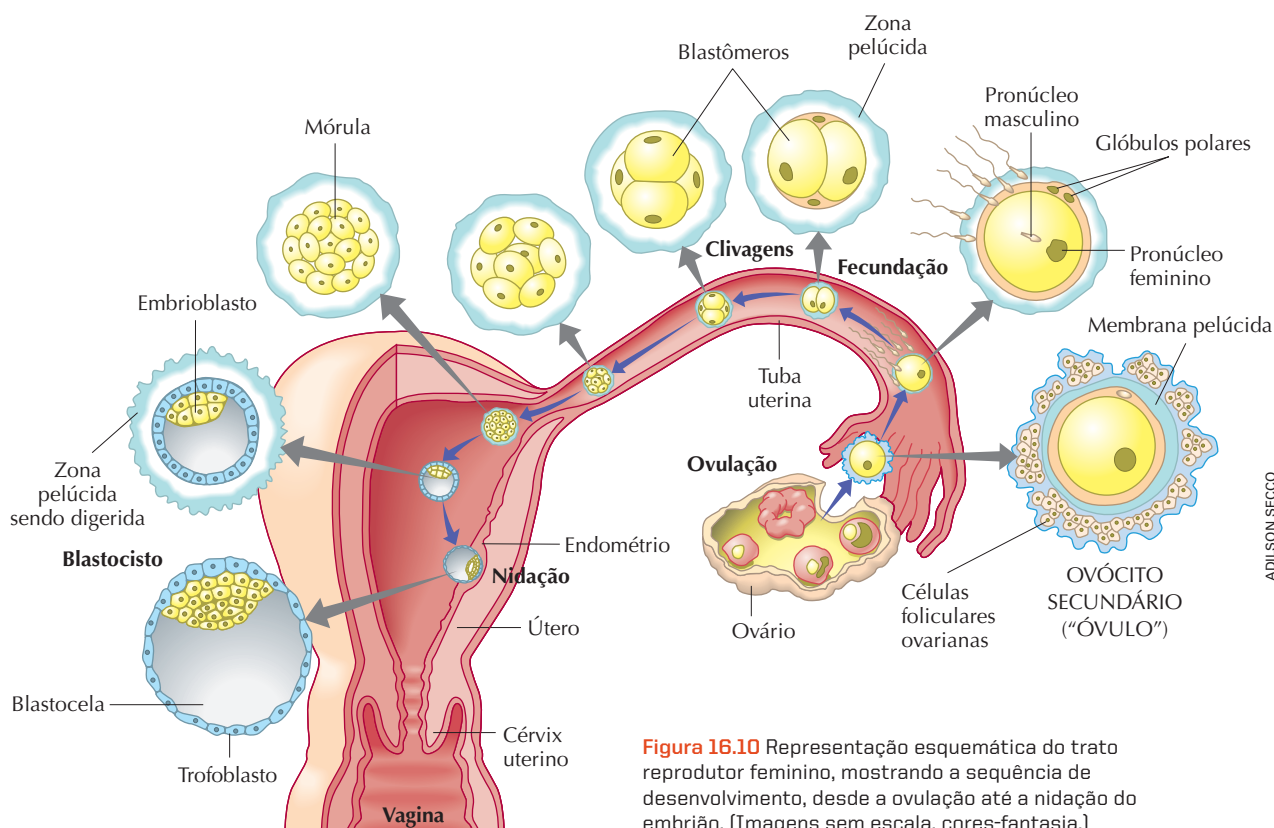


Figura 16.10 Representação esquemática do trato reprodutor feminino, mostrando a sequência de desenvolvimento, desde a ovulação até a nidação do embrião. [Imagens sem escala, cores-fantasia.]

Gravidez ectópica

Em condições anormais, o blastocisto pode se implantar fora do útero, o que é chamado de **gravidez ectópica**. Em casos raros, o embrião escapa da tuba uterina e começa a se desenvolver nas membranas da cavidade abdominal. Em 98% dos casos, a gravidez ectópica ocorre na parede da tuba uterina, sendo chamada de gravidez tubária. A causa da gravidez tubária é a saída precoce do embrião da zona pelúcida. A gravidez ectópica pode causar hemorragias na gestante e, em certos casos, gerar complicações mais sérias.

Gonadotrofina coriônica

O embrião recém-implantado secreta um hormônio, a **gonadotrofina coriônica**, produzido pelo cório. A presença da gonadotrofina coriônica no sangue da mulher estimula a atividade do corpo-amarelo ovariano, mantendo elevadas as taxas de estrogênio e progesterona no sangue da gestante, hormônios que normalmente diminuem no final do ciclo menstrual. Assim, a menstruação não ocorre, o que constitui um dos primeiros sinais de gravidez.

No início da gestação, a concentração elevada de gonadotrofina coriônica no sangue da mulher faz com que parte desse hormônio seja eliminada na urina. Muitos testes de gravidez comercializados atualmente detectam a presença de gonadotrofina coriônica na urina, sinal inequívoco de gravidez.

A partir do quarto mês de gravidez, o corpo-amarelo ovariano regride. O endométrio, entretanto, continua presente e em crescimento graças à produção dos hormônios estrogênio e progesterona pela placenta, agora já completamente formada. A placenta continuará a produzir estrogênio e progesterona em quantidades crescentes até o fim da gravidez.

Placenta é o órgão formado pela decídua uterina e pelas projeções coriônicas mergulhadas nela. É por meio dela que se dá a comunicação nutricional entre a mãe e o filho, durante o desenvolvimento deste no útero. As projeções altamente vascularizadas do cório ficam mergulhadas nas lacunas sanguíneas produzidas pela digestão dos vasos sanguíneos da decídua uterina, em contato íntimo com o sangue materno que circula por ali. O sangue do embrião circula sempre dentro dos vasos existentes nas projeções do componente embrionário, de modo que não há contato direto entre o sangue da mãe e do filho. No entanto, através da fina parede que separa a circulação embrionária da materna ocorre intensa troca de substâncias: alimento e gás oxigênio passam do sangue da mãe para o do filho, enquanto excreções e gás carbônico fazem o caminho inverso.

O embrião está ligado à placenta pelo **cordão umbilical**, uma estrutura tubular constituída por mesoderma extraembrionário revestido por epitélio amniótico. No início da formação do cordão umbilical, o mesoderma em seu interior origina duas artérias e uma veia, por meio das quais o sangue do embrião vai e volta da placenta. As artérias ramificam-se intensamente na região das vilosidades coriônicas, originando capilares pelos quais o sangue proveniente do embrião circula em grande proximidade do sangue materno presente nas lacunas que banham as vilosidades. Como já vimos, não há, em condições normais, mistura entre o sangue do embrião e o sangue materno na placenta. É a proximidade entre as circulações embrionária e materna que permite a difusão de substâncias entre mãe e filho. (Fig. 16.11)

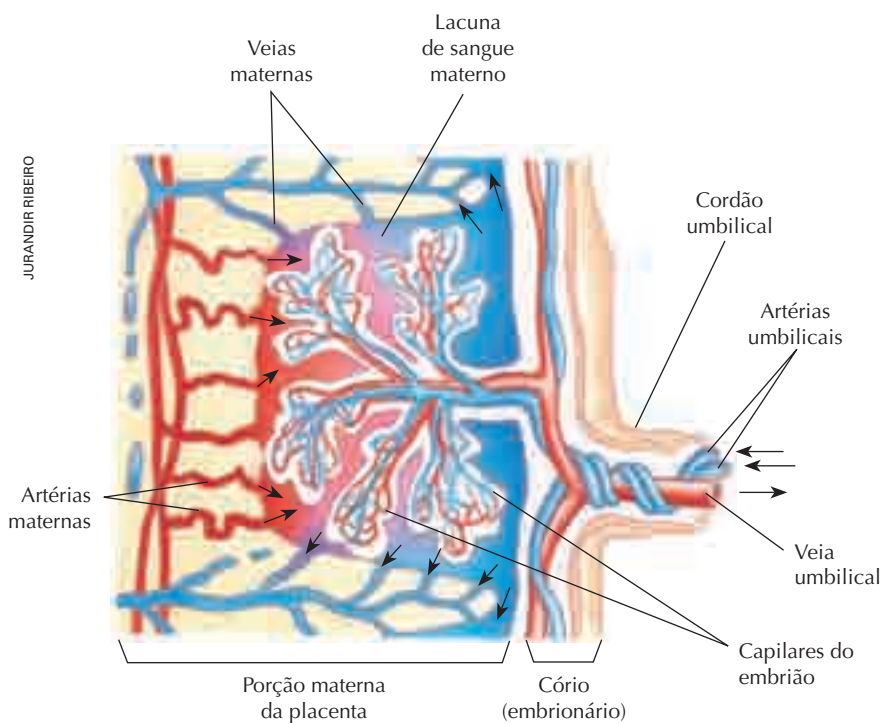


Figura 16.11 Representação esquemática da circulação sanguínea na placenta, um órgão compartilhado entre mãe e embrião. (Imagem sem escala, cores-fantasia.) (Baseado em Campbell, N. e cols., 1999.)

Cerca de cinco semanas após a fecundação, os braços e pernas do embrião humano já são evidentes e começam a apresentar contrações musculares. Na nona semana de vida (isto é, no final do segundo mês), o embrião já tem cerca de 2,5 centímetros de comprimento e aparência tipicamente humana. Nessa época surgem células ósseas (osteoblastos) em suas cartilagens, indicando o início do processo de ossificação, e o embrião passa a ser chamado de **feto**. (Fig. 16.12)

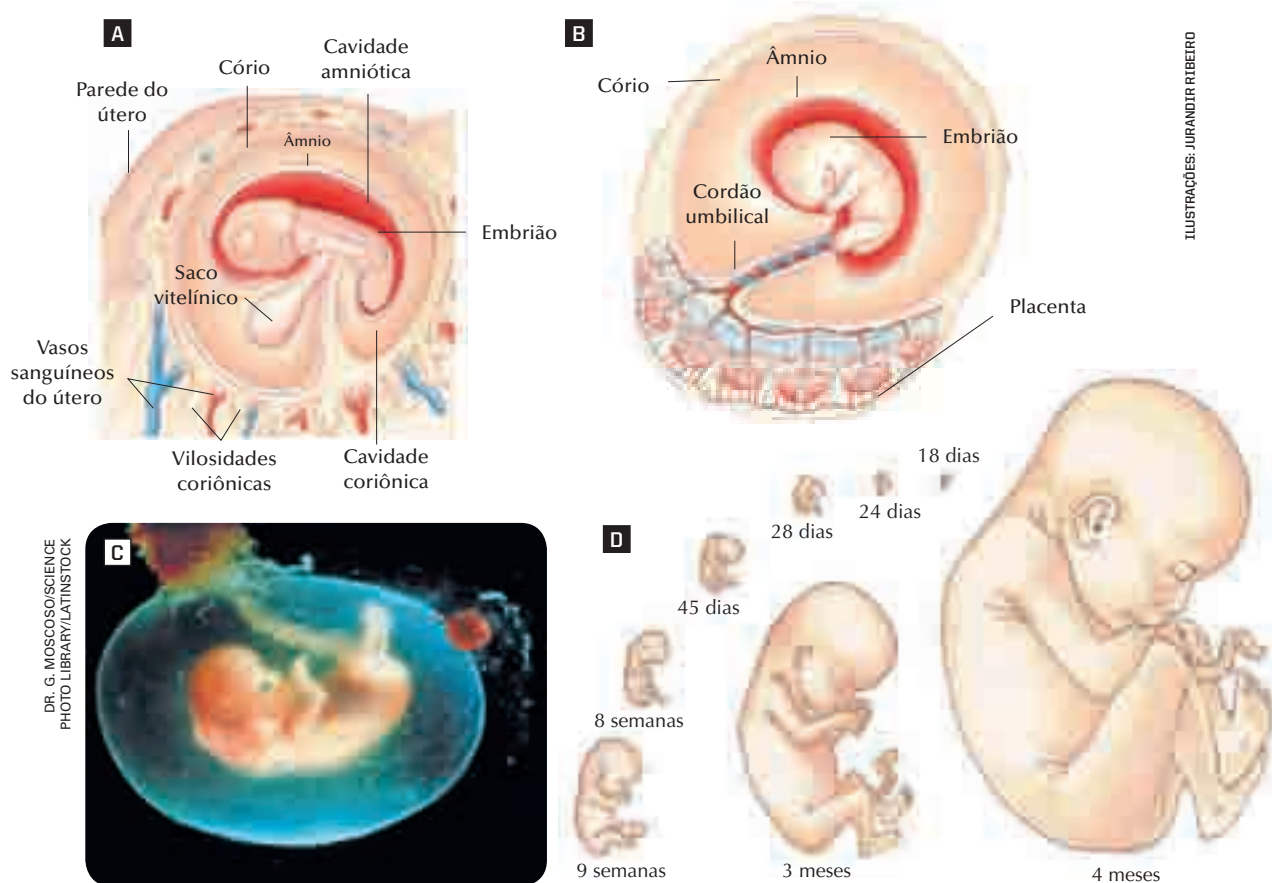


Figura 16.12 **A.** Representação esquemática de corte de um embrião humano com cerca de 27 dias e seus anexos embrionários. **B.** Representação esquemática de corte de um embrião de 45 dias, com a placenta e o cordão umbilical formados. **C.** Feto humano com 56 dias, envolto pelas membranas transparentes do cório e do âmnio. **D.** Representação esquemática em que se compara o tamanho relativo de embriões humanos de diferentes idades. (Em **A**, **B** e **D**, imagens sem escala, cores-fantasia.)

Aos cinco meses, o feto humano tem cerca de 20 centímetros de comprimento e pesa aproximadamente 500 gramas. Aos sete meses, ele já apresenta boas chances de sobrevivência, se porventura ocorrer seu nascimento prematuro. (**Tab. 16.1**)

Tabela 16.1 Ocorrências marcantes no desenvolvimento embrionário humano	
Idade do embrião	Evento
24 horas	Primeira divisão do zigoto, com formação de duas células.
3 dias	Chegada do embrião à cavidade uterina.
7 dias	Implantação do embrião no útero.
2,5 semanas	Organogênese em curso. Início da formação da notocorda e do músculo cardíaco; formação das primeiras células sanguíneas, do saco vitelínico e do cório.
3,5 semanas	Formação do tubo nervoso. Primórdios de olhos e orelhas já são visíveis; diferenciação do tubo digestório, com formação das fendas na faringe e início de desenvolvimento do fígado e do sistema respiratório; o coração começa a bater.
4 semanas	Aparecimento de brotos dos braços e pernas; formação das três partes básicas do encéfalo.
2 meses	Início dos movimentos. Já é possível identificar a presença de testículos ou ovários; tem início a ossificação; os principais vasos sanguíneos assumem sua posição definitiva.
3 meses	O sexo já pode ser identificado externamente; a notocorda degenera.
4 meses	A face do embrião assume aparência humana.
3º trimestre	Os neurônios tornam-se mielinizados; ocorre grande crescimento do corpo.
266º dia	Nascimento.

Parto

» Habilidades sugeridas

► Compreender, em linhas gerais, os processos relacionados ao parto – contrações uterinas, ruptura da bolsa amniótica, expulsão do feto e eliminação da placenta.

► Distinguir gêmeos dizigóticos (fraternos) e gêmeos monozigóticos.

► Utilizar os conhecimentos sobre a reprodução e o desenvolvimento embrionário humanos para ajudar a formar juízos de valor em assuntos polêmicos da cidadania, tais como controle da reprodução, aborto, fertilização *in vitro*, clonagem etc.

» Conceitos principais

- parto
- gêmeos dizigóticos
- gêmeos monozigóticos

O nascimento de um ser humano

O **parto** natural consiste na expulsão do feto por contrações rítmicas da musculatura uterina e ocorre ao fim do nono mês de gravidez, aproximadamente 266 dias após a fecundação. Nessa época, o feto humano mede cerca de 50 centímetros de comprimento e pesa, em média, entre 3 e 3,5 kg.

No momento do parto, o colo do útero se dilata e a musculatura uterina contrai-se ritmicamente com frequência cada vez maior. A bolsa amniótica se rompe e o líquido nela contido extravasa pela vagina. O feto é gradualmente empurrado para fora do útero pelas fortes contrações da musculatura uterina. A vagina se dilata e permite a passagem do bebê.

A parte fetal da placenta desprende-se da parede uterina e é também expulsa através da vagina, juntamente com o sangue proveniente do rompimento de vasos sanguíneos maternos. Nesse momento, no parto assistido, o cordão umbilical que liga o feto à placenta é cortado e amarrado. (Fig. 16.13)

Com o desprendimento da placenta, o gás carbônico acumula-se no sangue do recém-nascido, o que estimula os centros cerebrais que controlam a respiração. Esses centros induzem o sistema respiratório do recém-nascido a funcionar e, pela primeira vez, ele respira com seus próprios pulmões.

Se o parto natural não for possível, devido à falta de contrações uterinas ou porque o feto é muito grande para passar pela pelve da mãe, recorre-se a uma intervenção cirúrgica conhecida por **cesariana**. Nessa cirurgia, é feita uma incisão na parte baixa do abdome da gestante, de modo a expor o útero; este é aberto e a criança é retirada, juntamente com o cordão umbilical e a placenta. Em seguida, os cortes cirúrgicos são fechados por suturas.

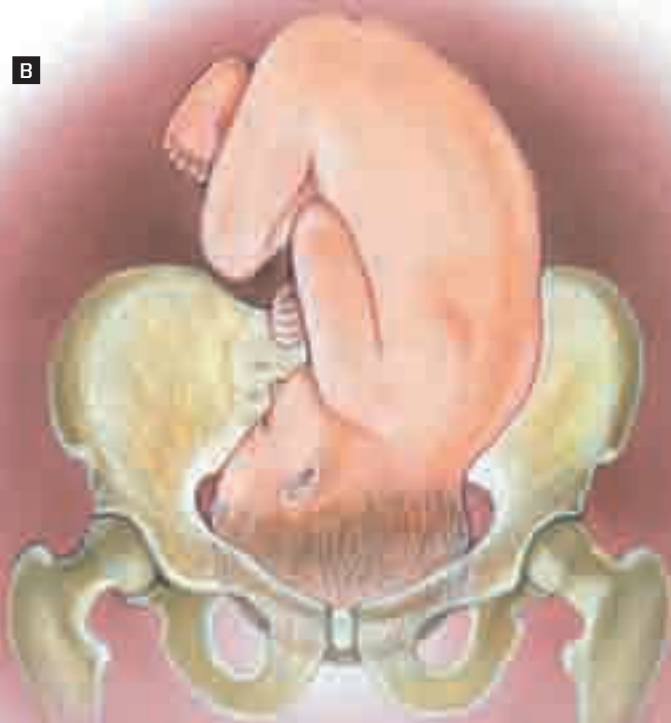
Figura 16.13 A. Representação esquemática de etapas do parto. **B.** Orientação correta do feto em relação à pelve da mãe para que ocorra parto normal. **C.** Modificações do útero durante o parto. **D.** Expulsão da placenta após o parto. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)



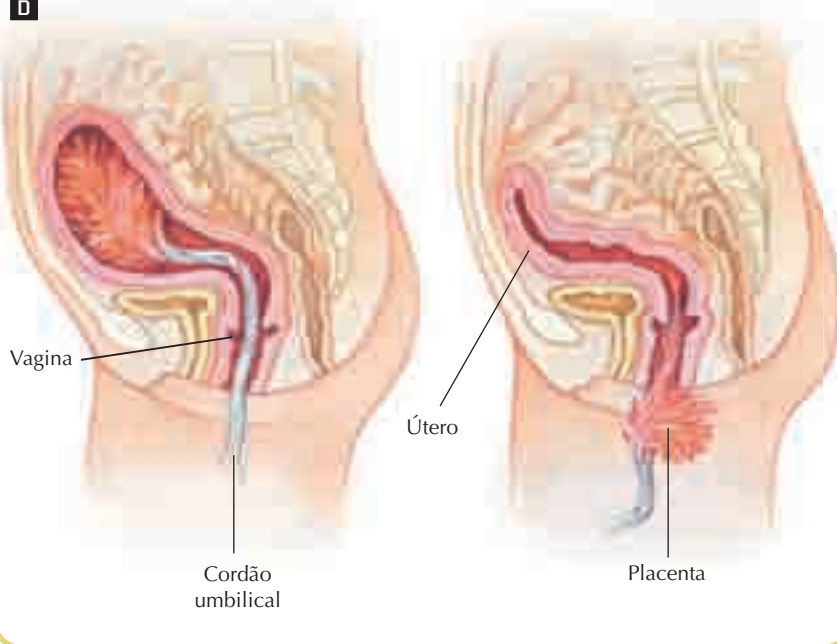
JURANDIR RIBEIRO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

B



D



C





JOSU ALTZEL/AGE/AGB



JOHN FRANCIS BOURKE/
PHOTOGRAPHER'S CHOICE/GETTY IMAGES

Figura 16.14 A. Gêmeas monozigóticas, portanto, originadas do mesmo zigoto; apesar de apresentar genes idênticos em suas células, essas gêmeas podem exibir diferenças em razão da interação entre os genes e os fatores ambientais, ao longo do desenvolvimento. **B.** Gêmeos dizigóticos formados de dois zigotos distintos e, portanto, de diferentes pares de gametas.

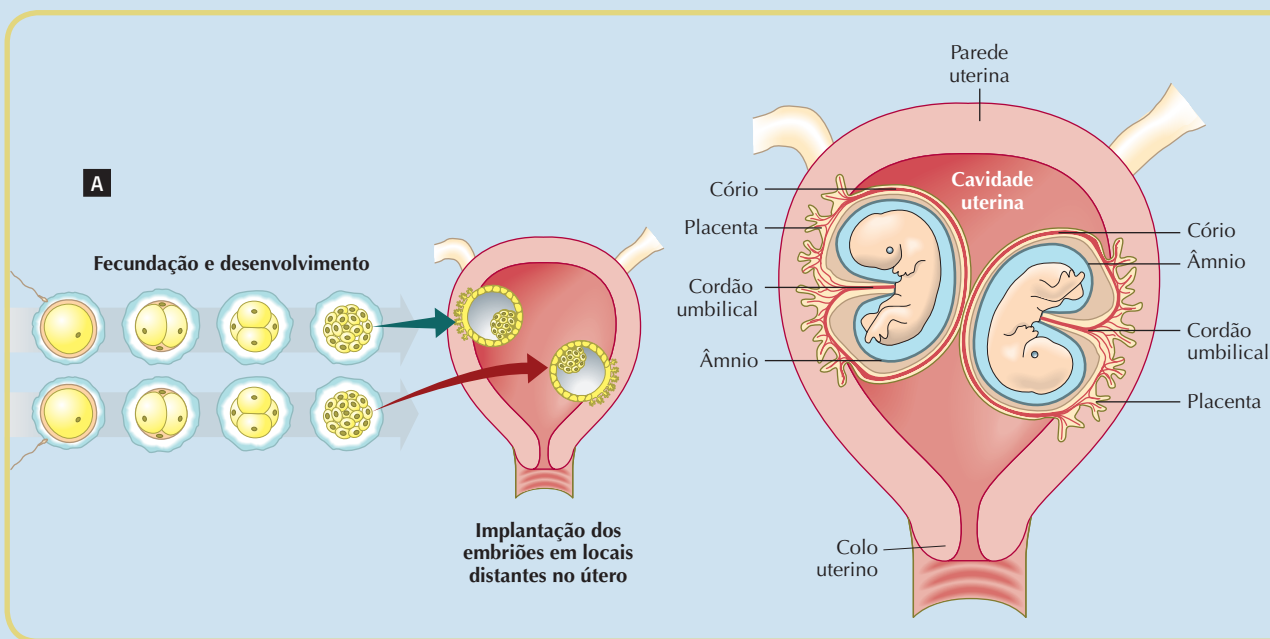
1 Quando nascem duas ou mais crianças em uma gestação, fala-se em **gêmeos**. Estes podem ser tão diferentes quanto dois irmãos quaisquer (gêmeos dizigóticos ou fraternos) ou ser de mesmo sexo e extremamente parecidos fisicamente (monozigóticos). (Fig. 16.14)

2 A gravidez de gêmeos é um evento de relativa raridade na população em geral, menos de 1% dos nascimentos. Apesar dessa baixa porcentagem, estudos realizados em Campinas, São Paulo, mostraram que, entre os gêmeos, o número de complicações e morte após o nascimento praticamente dobra em relação aos nascimentos de parto único. Estudos realizados na Finlândia mostraram que a fecundação *in vitro* (FIV) eleva significativamente a chance de gestações múltiplas (gêmeos e trigêmeos); esta foi da ordem de 36% no grupo FIV e 2,2% no grupo utilizado como controle.

Gêmeos dizigóticos (ou gêmeos fraternos)

3 Normalmente a mulher libera apenas um ovócito (“óvulo”) a cada ciclo menstrual. Eventualmente, porém, pode liberar dois ovócitos (ou mais) e, se ambos forem fecundados, formam-se dois zigotos; se ambos se desenvolverem, nascerão duas crianças na mesma gravidez, portanto gêmeas. Nesse caso, as crianças podem ser tão diferentes quanto quaisquer irmãos, podendo ter sexos distintos. Gêmeos desse tipo são, na verdade, irmãos de mesma idade que compartilharam o útero materno, sendo por isso chamados de **gêmeos dizigóticos**, ou gêmeos fraternos. O termo dizigótico enfatiza a origem dos gêmeos, formados a partir de dois zigotos diferentes.

4 Gêmeos dizigóticos podem se implantar no útero em locais distantes um do outro, originando cada um sua própria placenta. Em certos casos, porém, a implantação dos dois blastocistos ocorre em áreas uterinas próximas e eles parecem apresentar uma única placenta. O exame microscópico revela, porém, que a placenta tem dois córios distintos, entre os quais há trofoblasto e vilosidades coriônicas atrofiadas, resultado do desenvolvimento de uma placenta junto da outra. Cada embrião desenvolve seu próprio âmnio e seu próprio cordão umbilical. (Fig. 16.15)



Gêmeos monozigóticos

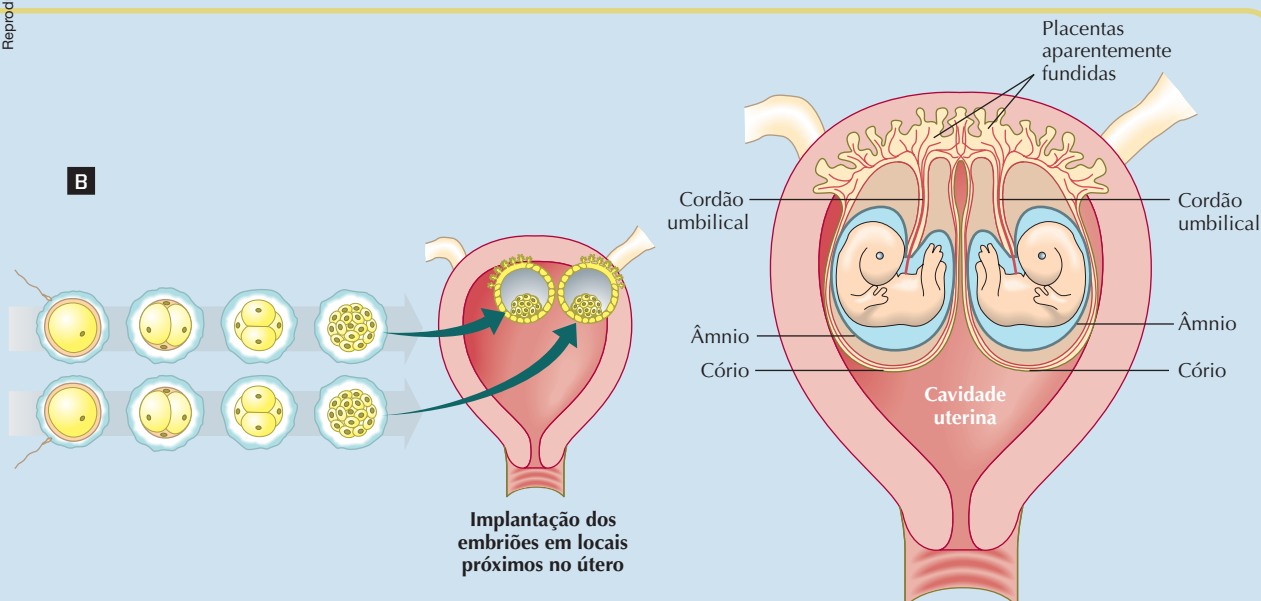
5 Na espécie humana, um único zigoto pode eventualmente originar dois ou mais indivíduos, idênticos do ponto de vista genético; consequentemente, têm mesmo sexo e costumam ser muito parecidos fisicamente. Esses são os **gêmeos monozigóticos**, bem menos frequentes que os dizigóticos: de cada quatro pares de gêmeos nascidos, apenas um é monozigótico.

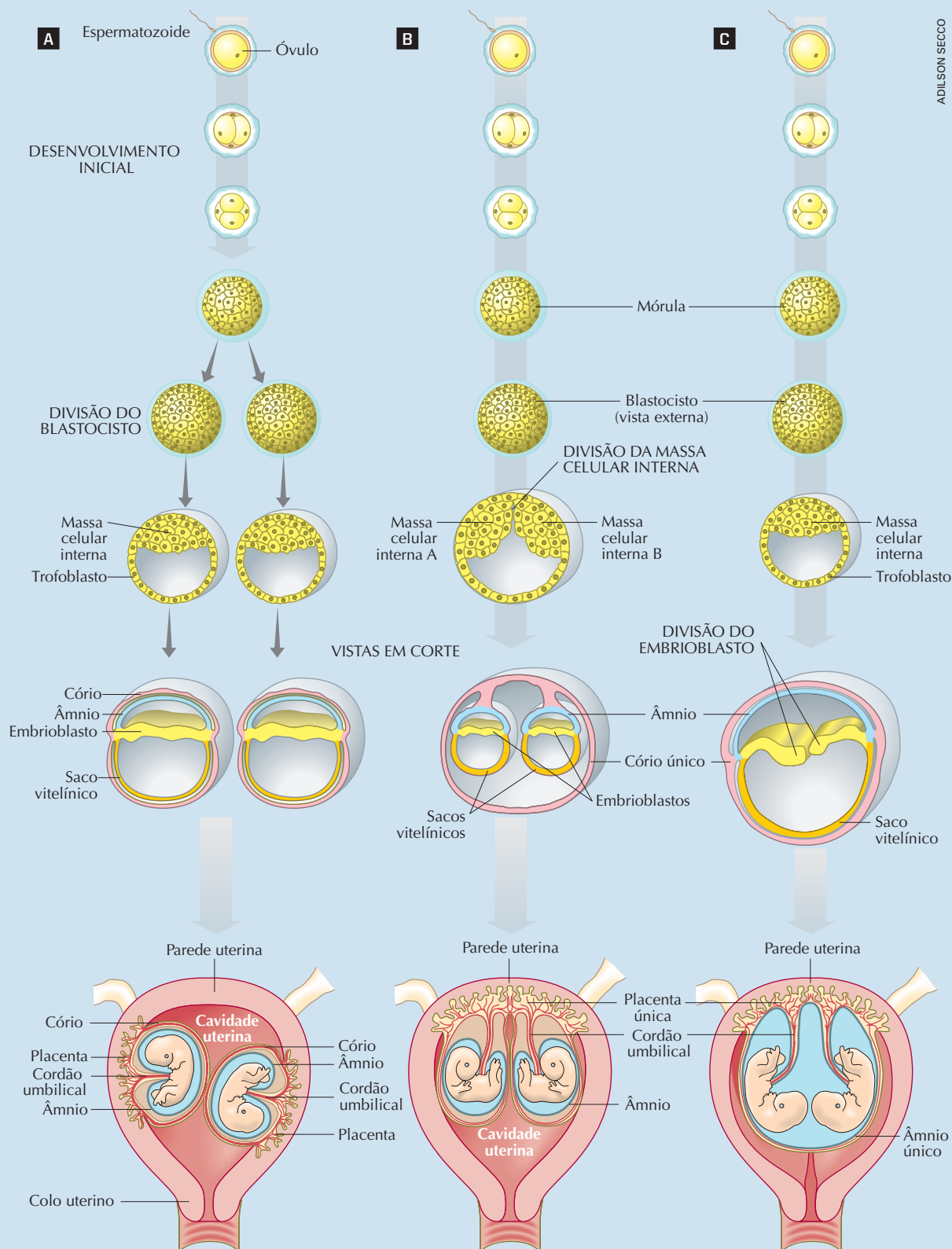
6 Em aproximadamente 30% dos casos, os gêmeos monozigóticos formam-se até o terceiro dia após a fecundação, quando o embrião ainda se encontra no estágio de mórula. Nesses casos, a mórula divide-se em dois grupos de blastômeros, que prosseguem o desenvolvimento independentemente um do outro, originando dois blastocistos com o mesmo patrimônio genético, uma vez que são provenientes do mesmo zigoto. Cada um desses embriões desenvolve sua própria placenta, âmnio e cordão umbilical; se as implantações forem muito próximas, pode ocorrer uma aparente fusão das placentas, como já foi mencionado no caso de gêmeos dizigóticos. (Fig. 16.16A)

7 Em 70% dos casos, a formação dos gêmeos monozigóticos ocorre entre o quarto e o décimo quarto dias de vida embrionária. Nesses casos, a divisão do embrioblasto ocorre de tal maneira que os gêmeos, apesar de desenvolverem âmnios e cordões umbilicais próprios, compartilham um único cório e uma única placenta. (Fig. 16.16B)

8 Mais raramente, os gêmeos monozigóticos surgem quando o disco embrionário já está presente, ou seja, quando o hipoblasto e o epiblasto já se formaram. A divisão do disco embrionário origina dois embriões, cada um com seu cordão umbilical, mas que compartilham uma mesma bolsa amniótica, um mesmo cório e uma mesma placenta. (Fig. 16.16C)

Figura 16.15 Representação esquemática da formação de gêmeos dizigóticos. **A.** Os gêmeos implantam-se em regiões afastadas no útero, desenvolvendo cório, placenta, âmnio e cordão umbilical separados. **B.** Os gêmeos implantam-se muito próximos um do outro no útero e suas placentas aparentemente se fundem; entretanto, a análise microscópica revela que elas estão separadas. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)





ADILSON SECCO

Figura 16.16 Representação esquemática das diferentes maneiras de formação de gêmeos monozigóticos. **A.** Gêmeos formados precocemente pela divisão da mórula em dois blastocistos distintos; eles podem se implantar em regiões distantes do útero ou compartilhar a mesma região uterina da placenta. **B.** Gêmeos formados pela divisão do embrioblasto têm âmnio e cordão umbilical separados, compartilhando o cório e a placenta. **C.** Gêmeos formados tardiamente a partir da divisão do embrioblasto compartilham o cório, o âmnio e a placenta; apenas seus cordões umbilicais são separados. [Imagens sem escala, cores-fantasia.]

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Gêmeos unidos

9 Em raros casos, gêmeos monozigóticos podem nascer ligados por uma parte do corpo. Uma denominação para esse tipo de gêmeo – teratópago – carrega uma conotação negativa. O termo vem do grego *teras*, monstro, e *pagos*, unido; preferimos utilizar o termo “gêmeos unidos”. Os mais famosos gêmeos unidos foram os irmãos Chang e Eng, nascidos em 1811 na atual Tailândia (antigo Sião), que eram ligados pela região torácica. Eles ficaram conhecidos como “irmãos siameses” e ganharam a vida exibindo-se para plateias

nos Estados Unidos, onde moraram e se casaram com duas irmãs. Ao morrerem, em 1874, a autópsia revelou haver ligação entre seus fígados.

10 Há diversos graus de compartilhamento de tecidos e órgãos entre os gêmeos unidos. Em alguns casos, a separação cirúrgica é possível, permitindo a sobrevivência dos dois gêmeos. Em outros casos, a cirurgia leva necessariamente ao sacrifício de um deles; em outros, ainda, a separação é impossível, pois levaria ambos à morte. Essa questão tem sido motivo de grande debate entre médicos e religiosos, em virtude das questões éticas e morais envolvidas. (Fig. 16.17)

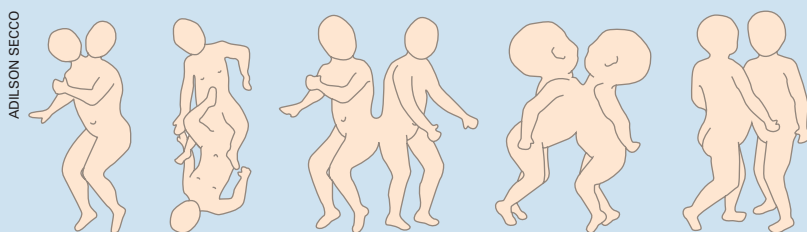


Figura 16.17 Representação esquemática de diferentes tipos de gêmeos unidos. (Imagens sem escala, cores-fantasia.) [Adaptado de Beiguelman, B., 2003.]

GUIA DE LEITURA

1. Leia o primeiro parágrafo do quadro, no qual se definem gêmeos. Note que o título da leitura também possibilita ampliar ou alterar a definição; como ficaria ela?
2. Ainda sobre o primeiro parágrafo, em que são apresentados dois tipos de gêmeos, analise a **Figura 16.14** e leia a legenda. A seguir, responda: a) quais são os dois tipos de gêmeos mencionados? b) que informação da legenda explica as ligeiras diferenças existentes entre gêmeos monozigóticos? c) seu desafio agora é fazer um esquema para caracterizar os dois tipos de gêmeos que estudou; utilize esquemas simplificados de óvulos, de espermatozoides e caricaturas de pessoas; complemente com as legendas adequadas.
3. Leia o segundo parágrafo. Note a informação estatística sobre o aumento do risco de complicações em gravidezes gemelares (isto é, de gêmeos). Note, também, a elevação significativa de partos gemelares em mulheres que se submeteram à fecundação *in vitro*. Você consegue deduzir o porquê desse aumento? Releia o quadro “A fecundação *in vitro*” no capítulo 14 para obter dados para suas conclusões.
4. Leia os parágrafos de números 3 e 4, relativos a gêmeos dizigóticos. Analise atentamente a **Figura 16.15**, acompanhando com a leitura da legenda. Releia o texto, consultando a figura sempre que for necessário. Então, responda: a) o que pode acontecer quando gêmeos dizigóticos implantam-se perto um do outro, no útero materno?
5. Leia o parágrafo de número 5, relativo a gêmeos monozigóticos. Ele traz um dado estatístico sobre a frequência de gêmeos monozigóticos em relação aos dizigóticos; transforme esse dado em porcentagem do total de gêmeos.
6. Leia o sexto e o sétimo parágrafos. Analise as **Figuras 16.16A** e **16.16B**. Elas tratam dos gêmeos monozigóticos que se formam até o terceiro dia após a fecundação (cerca de 30% do total) e dos que se formam depois disso, entre o quarto e o décimo quarto dias após a fecundação (cerca de 70%). Quais são as diferenças entre esses tipos de gêmeos?
7. No oitavo parágrafo, comenta-se sobre uma terceira possibilidade de formarem-se gêmeos monozigóticos. Qual é ela? Analise a **Figura 16.16C** e compare os três tipos de gêmeos.
8. Leia os parágrafos 9 e 10, que tratam de gêmeos unidos. Conscientize-se da necessidade de evitar a utilização de termos, científicos ou não, que apresentem conotação negativa ou preconceituosa sobre seres humanos. Outro termo utilizado para esse tipo de gêmeo é xifópago. O termo *xiphós* vem do grego e nomeia um tipo de espada com duas lâminas em um punho simples. Em sua opinião, qual é a relação do termo com gêmeos unidos? Se puder, pesquise mais a respeito.
9. Releia o parágrafo 9, que menciona os mais famosos gêmeos unidos do mundo, os siameses Chang e Eng. Leia a sinopse do livro de Darin Strauss, com tradução para o português, sobre eles: “*Os gêmeos que deram origem à expressão ‘irmãos siameses’ são o tema deste romance em que os fatos reais parecem pura ficção*”. Caso se interesse em aprofundar o assunto, o livro citado é: Chang e Eng, de Darin Strauss, tradução de Eduardo Brandão, Companhia das Letras. 1ª edição, 2001.
10. Leia o décimo e último parágrafo do quadro e observe a **Figura 16.17**. Elabore um texto opinativo, curto, sobre as principais ideias tratadas no parágrafo.

QUESTÕES PARA PENSAR E DISCUTIR

Questões objetivas

Considere as alternativas a seguir para responder às questões de 1 a 5.

- a) Marsupiais (Metatheria).
- b) Monotremados (Prototheria).
- c) Placentários (Eutheria).

1. Em que grupo o ovo é oligolécito e tem segmentação holoblástica?
2. Em que grupo se encontra ovo megalécito semelhante ao de répteis e aves?
3. Em que grupo os filhotes se desenvolvem inicialmente no interior do organismo materno, nascem imaturos e terminam o desenvolvimento em uma bolsa no ventre da mãe?
4. Que grupo de mamíferos se caracteriza pela presença de uma estrutura altamente eficiente no intercâmbio de substâncias entre mãe e filho, durante todo o desenvolvimento embrionário?
5. Quais são os mamíferos ovíparos?
6. Sobre o blastocisto de mamíferos foram feitas as seguintes afirmações:
 - I. Corresponde ao estágio de gástrula dos outros vertebrados.
 - II. Sua cavidade interna é o alantoide.
 - III. Quando está na tuba uterina encontra-se no interior da zona pelúcida.
 - IV. Sua camada celular externa é o trofoblasto.
 Quais afirmações são corretas?
 - a) I e II, apenas.
 - b) I, III e IV, apenas.
 - c) II e III, apenas.
 - d) III e IV, apenas.
 - e) I, II, III e IV.
7. A gravidez tubária resulta da implantação anormal do blastocisto na parede da tuba uterina. Qual das estruturas a seguir está diretamente relacionada a esse problema?
 - a) Âmnio.
 - b) Alantoide.
 - c) Blastocela.
 - d) Embrioblasto.
 - e) Zona pelúcida.

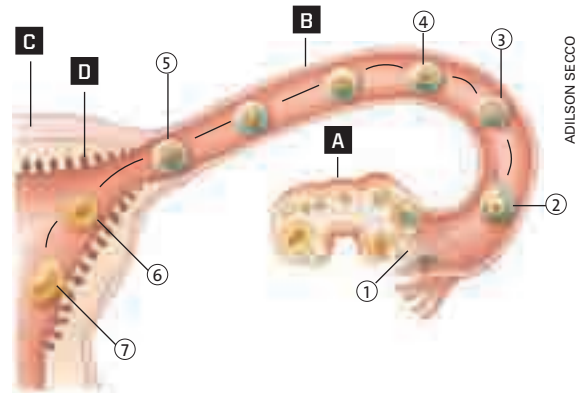
Considere as alternativas a seguir para responder às questões de 8 a 10.

- a) Alantoide.
 - b) Âmnio.
 - c) Cório.
 - d) Saco vitelínico.
8. Qual anexo embrionário produz projeções em forma de dedo que se implantam na parede uterina, constituindo a parte embrionária da placenta?

9. Qual anexo embrionário tem por função proteger o embrião contra perda de água e choques mecânicos?
10. Que anexo embrionário parece não ter quase função em mamíferos placentários, uma vez que o ovo destes praticamente não armazena substâncias nutritivas?

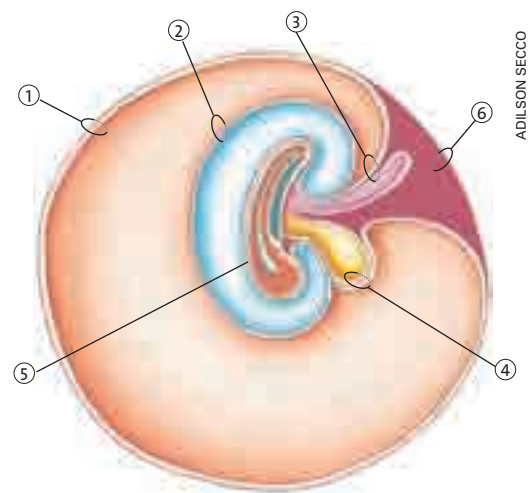
Questões discursivas

Analese a figura abaixo e responda às questões de 11 a 13.



11. Quais são os nomes das partes apontadas pelas letras A, B, C e D?
12. Identifique os estágios do desenvolvimento apontados pelos números de 1 a 7.
13. Em que momento ocorre a liberação do embrião da zona pelúcida? Explique brevemente.

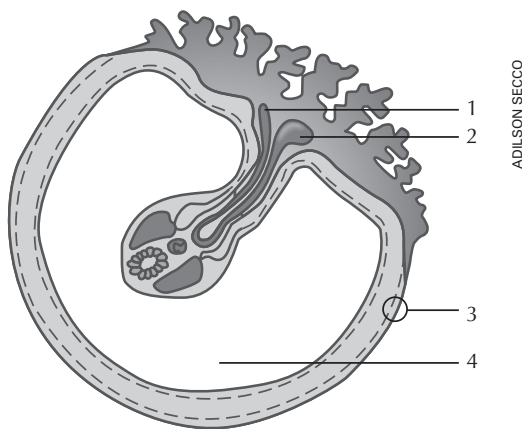
Analese a figura abaixo e responda às questões de 14 a 16.



14. Identifique as estruturas apontadas pelas setas 1, 2, 3 e 4.
15. Qual seta aponta o embrião propriamente dito?
16. O que representa o local apontado pela seta 6?

Questões objetivas

- (Ufam) Na ovulação, o primeiro caminho natural do óvulo, após ser liberado pelo ovário para ser fecundado, é
 - o colo uterino.
 - a vagina.
 - a tuba uterina.
 - o folículo ovariano.
 - a uretra.
- (Uespi) O momento da implantação do embrião no útero ocorre aproximadamente
 - 3 dias após a fecundação no estágio de mórula.
 - 5 dias após a fecundação no estágio de gástrula.
 - 6 dias após a fecundação no estágio de blastocisto.
 - 12 dias após a fecundação no estágio de blástula.
 - 2 dias após a fecundação no estágio de mórula.
- (UFPE) Na figura, que ilustra um embrião humano com oito semanas, analise as estruturas numeradas de 1 a 4 e determine a alternativa que indica o alantoide, a vesícula vitelínica, o cório e a cavidade amniótica, nessa ordem.



- 2, 1, 4 e 3.
 - 4, 3, 2 e 1.
 - 3, 1, 2 e 4.
 - 4, 3, 1 e 2.
 - 1, 2, 3 e 4.
- (FCC-BA) A proteção mecânica do embrião dos mamíferos é realizada fundamentalmente
 - pelo alantoide.
 - pela placenta.
 - pelo saco vitelínico.
 - pelo cordão umbilical.
 - pelo saco amniótico.
 - (Urca-CE) As funções da placenta de trocas gasosas e nutrição exercem funções de anexos embrionários encontrados em aves e répteis. Quais são esses anexos?

- Alantoide e âmnio.
 - Saco vitelínico e casca do ovo.
 - Alantoide e saco vitelínico.
 - Âmnio e saco vitelínico.
 - Cório e alantoide.
- (Cesesp-PE) Com relação a gêmeos univitelinos, é correto afirmar que
 - são resultantes da bipartição de óvulos não fecundados e desenvolvidos partenogeneticamente.
 - são resultantes da fecundação de dois óvulos por dois espermatozoides, podendo resultar indivíduos de ambos os sexos.
 - são resultantes da bipartição de um só óvulo, fecundado por dois espermatozoides, dando indivíduos masculinos e femininos ao mesmo tempo.
 - são resultantes da bipartição de um só óvulo, fecundado por um só espermatozoide, dando indivíduos masculinos e femininos ao mesmo tempo.
 - são resultantes da bipartição de um só óvulo, fecundado por um só espermatozoide, resultando indivíduos do mesmo sexo.
 - (Fuvest-SP) Durante a gestação, os filhotes de mamíferos placentários retiram alimento do corpo materno. Qual das alternativas indica o caminho percorrido por um aminoácido resultante da digestão de proteínas do alimento, desde o organismo materno até as células do feto?
 - Estômago materno → circulação sanguínea materna → placenta → líquido amniótico → circulação sanguínea fetal → células fetais.
 - Estômago materno → circulação sanguínea materna → placenta → cordão umbilical → estômago fetal → circulação sanguínea fetal → células fetais.
 - Intestino materno → circulação sanguínea materna → placenta → líquido amniótico → circulação sanguínea fetal → células fetais.
 - Intestino materno → circulação sanguínea materna → placenta → circulação sanguínea fetal → células fetais.
 - Intestino materno → estômago fetal → circulação sanguínea fetal → células fetais.
 - (UPF-RS) Os embriões de anfíbios, peixes, répteis, aves e mamíferos, durante o seu desenvolvimento, criam estruturas anexas a partir dos folhetos germinativos que não fazem parte de seu corpo, mas ali estão para auxiliá-los em sua nutrição, proteção, respiração e excreção. O alantoide e o cório são anexos embrionários encontrados **exclusivamente** em
 - mamíferos, aves, répteis.
 - peixes, anfíbios.
 - aves e mamíferos.
 - peixes e mamíferos.
 - mamíferos.

9. (UFRGS-RS) Durante o processo de formação do embrião dos mamíferos, formam-se também vários anexos que, embora não fazendo parte do corpo do embrião, são importantes para o desenvolvimento deste. O anexo responsável pelas trocas gasosas e metabólicas na relação fetomaternal é
- a) a bolsa amniótica.
 - b) a placenta.
 - c) o cório.
 - d) a vesícula vitelínica.
 - e) o cordão umbilical.
10. (PUC-RS) Um gameta oriundo de uma mulher (ovócito) foi fertilizado por outro gameta oriundo de um homem (espermatozoide), dando origem a um zigoto, o qual se desenvolveu como embrião, depois como feto, até que, nove meses depois, você nasceu. Assim, sua vida biológica iniciou antes do parto, e seu coração começou a bater no _____ mês após a fecundação.
- a) primeiro
 - b) terceiro
 - c) quinto
 - d) sétimo
 - e) nono
11. (UCS-RS) Os gêmeos univitelinos são formados
- a) após a fertilização, com a entrada de dois espermatozoides no ovócito I.
 - b) devido à divisão de um único zigoto e não do óvulo.
 - c) durante a fertilização, com a entrada do espermatozoide no ovócito secundário.
 - d) pela disjunção do ovócito I na gametogênese feminina.
 - e) devido à presença de um espermatozoide contendo a informação hereditária de formar duas placentas.
12. (UFMS) Os anexos embrionários são de fundamental importância para o desenvolvimento do embrião. Em relação a esses anexos, determine a(s) proposição(ões) correta(s). [Dê como resposta a soma dos números associados a proposições corretas.]
- 001) O alantoide é mais desenvolvido nos mamíferos do que nas aves e nos répteis.
 - 002) O âmnio apresenta-se em forma de um saco membranoso repleto de líquido com função de hidratação e proteção do embrião (proteção contra choques mecânicos externos).
 - 004) Apenas os mamíferos apresentam o anexo embrionário âmnio.
 - 008) O saco vitelínico é mais desenvolvido em répteis e em aves do que em mamíferos.
 - 016) A placenta é encontrada em mamíferos e aves.
 - 032) Aves, répteis e mamíferos possuem o anexo embrionário cório.
13. (UFCEG-PB) Para que ocorra a fecundação na espécie humana, os espermatozoides precisam transpor uma série de barreiras até que possam encontrar o ovócito e, por fim, fecundá-lo. Em relação a esse processo, leia as alternativas e escolha a **incorreta**.
- a) A quantidade de microtúbulos no flagelo e a produção de substâncias lubrificantes que facilitam o deslocamento dos espermatozoides são as principais condições para que um espermatozoide fecunde o ovócito.

- b) A motilidade dos espermatozoides se dá graças aos movimentos dos flagelos e esse movimento ocorre utilizando a energia produzida a partir de reações metabólicas sediadas nas mitocôndrias.
- c) No trajeto percorrido pelos espermatozoides rumo ao encontro com o ovócito, há fatores dificultantes, a exemplo do pH ácido e secreções mucosas da vagina.
- d) As enzimas presentes no acrosomo do espermatozoide (ex. hialuronidase) são úteis na transposição da zona pelúcida que envolve e protege o ovócito.
- e) Após a entrada do espermatozoide no ovócito, ocorre um bloqueio à poliespermia, onde mecanismos são desenvolvidos para impedir a entrada de outros espermatozoides.

▼ Questões discursivas

14. (Fuvest-SP) Durante o desenvolvimento embrionário das aves, o embrião é nutrido graças à grande quantidade de vitelo presente no ovo. Já nos mamíferos o ovo é pobre em vitelo. Como a grande maioria dos embriões de mamíferos consegue obter os nutrientes necessários para seu desenvolvimento?
15. (UFSCar-SP) Considerando situações hipotéticas, Maria manteve relações sexuais com dois irmãos, gêmeos dizigóticos, nascendo destas relações Alfredo. Em outra situação, também hipotética, Paula engravidou ao manter relações sexuais com dois irmãos, gêmeos monoigóticos, nascendo Renato. Abandonadas, ambas reclamaram na Justiça o reconhecimento de paternidade, determinando o juiz a realização dos testes de DNA. Após receber os resultados, a justiça pronunciou-se sobre a paternidade de uma das crianças e ficou impossibilitada de pronunciar-se sobre a paternidade da outra criança. Responda:
- a) sobre a paternidade de qual criança o juiz pronunciou-se?
 - b) por que não pôde o juiz se pronunciar sobre a paternidade da outra criança?
16. (UFRJ)
- Britânica tem um gêmeo negro e outro louro
- Num acontecimento raro, irmãos nascem de cores distintas, mas geneticistas explicam que fenômeno é possível
- Londres. Os gêmeos Layton e Kaydon são, estatisticamente, dois em um milhão, já que um nasceu negro e outro branco. Num evento genético considerado raríssimo, segundo especialistas, os gêmeos têm características distintas: um é louro como o pai, enquanto o outro se parece com a mãe, descendente de nigerianos.
- O Globo*, 26 out. 2006.
- O trecho da reportagem acima trata de um evento bastante raro, entretanto a gravidez gemelar pode resultar em bebês com características diferentes.
- a) Que processos geram gêmeos em seres humanos?
 - b) Qual deles originou o caso descrito acima?

UNIDADE A A natureza da vida

› CAPÍTULO 1 Biologia: ciência e vida

Questões para pensar e discutir

Questões objetivas

1. d
2. a
3. b
4. c
5. d
6. a
7. c
8. b
9. b
10. d
11. c

Questões discursivas

12. a) A hipótese testada por Jenner foi que a varíola bovina protege contra a varíola humana, ou seja, se uma pessoa contrair varíola bovina ela se torna imune à varíola humana.
b) Ele inoculou, em uma criança de oito anos, material retirado de erupções cutâneas das mãos de uma ordenhadora atacada por varíola bovina. Após dois meses, repetiu o procedimento com material coletado de erupções cutâneas de uma pessoa atacada por varíola humana. Como Jenner previra, a criança não desenvolveu a forma grave da doença.
13. a) A provável hipótese testada foi a de que alguns aminoácidos são essenciais à sobrevivência das larvas.
b) O controle experimental era representado pelo grupo de larvas alimentado com dieta completa (com todos os 20 tipos de aminoácidos naturais, além de água, sais, açúcares e vitaminas). A importância do grupo de controle é que ele permitiu verificar se possíveis alterações na taxa de sobrevivência das larvas realmente deviam-se à falta de certos aminoácidos em sua dieta e não a algum outro fator.
c) A variável testada nos grupos experimentais foi a ausência de determinados aminoácidos na dieta das larvas.
d) As conclusões são: 1. Nem todos os aminoácidos são fundamentais à sobrevivência, os grupos que não receberam glutamina e glicina tiveram comportamento semelhante ao do grupo de controle; 2. Alguns aminoácidos são essenciais, isto é, sem eles as larvas não sobrevivem ou a sobrevivência é muito pequena (entre aminoácidos testados: valina, leucina e isoleucina).

14. De acordo com o *Dicionário Aurélio Básico da Língua Portuguesa*, ciência refere-se a: "1. Conhecimento. 2. Saber que se adquire pela leitura e meditação; instrução, erudição, sabedoria. 3. Conjunto organizado de conhecimentos relativos a um determinado objeto, especialmente os obtidos mediante a observação, a experiência dos fatos e um método próprio. 4. Soma de conhecimentos práticos que servem a um determinado fim. 5. A soma de conhecimentos humanos considerados em conjunto. 6. Processo pelo qual o homem se relaciona com a natureza visando à denominação dela em seu próprio benefício". Tecnologia refere-se a: "1. Conjunto de conhecimentos, especialmente princípios científicos, que se aplicam a um determinado ramo de atividade. 2. A totalidade desses conhecimentos". As definições acima poderão servir de referência para que a professora ou o professor estabeleçam comparações com a lista obtida pelos estudantes em sua pesquisa.
15. Chama-se Renascimento o movimento de revolução intelectual e artística que surgiu na Europa, a partir do século XIV. No pensamento renascentista, o ser humano deixou de se ver apenas como criatura e passou a desempenhar um papel criador, sentindo-se capaz de vencer diferentes obstáculos. A natureza foi dessacralizada e a humanidade passou a julgar que poderia dominá-la e manipulá-la como bem entendesse. A invenção da imprensa, a divulgação de textos impressos e a descoberta de novas culturas pelos europeus também contribuíram para que se instaurasse uma nova visão de mundo. A partir do Renascimento, surgiram novas formas de pensar, como o racionalismo, segundo o qual o conhecimento surge da atividade racional, e o experimentalismo, que busca o conhecimento por meio de experiências; essas ideias forneceram a base para o desenvolvimento do conhecimento científico. Copérnico (1473-1543), Kepler (1571-1630) e Galileu (1564-1642), na Astronomia; Vesalius (1514-1564), Miguel Servet (1509-1553) e Ambroise Paré (1509-1590), na Anatomia, são alguns dos nomes de destaque na ciência do Renascimento.

Vestibulares pelo Brasil

Questões objetivas

1. a
2. e
3. b
4. a
5. b

› CAPÍTULO 2 Origem da vida na Terra

Questões para pensar e discutir

Questões objetivas

1. d
2. a
3. c

4. d
5. c
6. e
7. d
8. a
9. b

Questões discursivas

10. a) O processo UHT torna o leite estéril, ou seja, isento de microrganismos. Isso ocorre porque a temperatura utilizada no processo chega a 150 °C (durante 2 a 4 segundos), eliminando os microrganismos indesejáveis.
- b) As baixas temperaturas no refrigerador retardam a proliferação de microrganismos que invadem o leite (vindos do ar, por exemplo) e que podem estragá-lo.
11. A hipótese testada por Miller foi a de que substâncias orgânicas poderiam ter se formado nas condições supostamente existentes na Terra primitiva, sem a participação de seres vivos. A dedução feita por ele foi que em um sistema que simulasse as supostas condições da Terra primitiva deveria haver síntese abiológica de compostos orgânicos.

Vestibulares pelo Brasil

Questões objetivas

1. d
2. a
3. d
4. d
5. a
6. e

Questão discursiva

7. a) Os primeiros eucariotos capazes de fazer respiração aeróbia devem ter surgido em B, pois eles dependiam da presença de gás oxigênio para respirar. Os organismos fotossintetizantes, que produzem gás oxigênio no processo, teriam surgido em A, num período anterior à origem dos organismos que faziam respiração aeróbia.
- b) A mitocôndria, no primeiro caso, pois a respiração aeróbia nos organismos eucariotos ocorre no interior dessa organela. O cloroplasto no segundo caso, pois a fotossíntese nos organismos eucariotos ocorre nessa organela.
- c) Mitocôndria e plastos surgiram por endossimbiose, segundo a teoria mais aceita, ou seja, pelo englobamento de seres procariotos que realizavam respiração aeróbia e fotossíntese. Essas organelas citoplasmáticas possuem DNA, ribossomos semelhantes aos das bactérias, e realizam síntese de proteínas, características que apoiam a teoria endossimbiótica.

» CAPÍTULO 3

Bases moleculares da vida

Questões para pensar e discutir

Questões objetivas

1. c
2. d
3. a
4. c
5. b
6. b
7. a
8. b
9. d
10. d
11. b
12. c

Questões discursivas

13. a) Em ambos, a proporção entre H e O, na molécula, é 2 : 1;
- b) o da esquerda é um monossacarídeo, pois tem fórmula geral $C_n(H_2O)_n$;
- c) eram duas trioses ($C_3H_6O_3$), que se uniram em uma síntese por desidratação, eliminando uma molécula de água.
14. a) Os números correspondem a: 1) ácido carboxílico ou carboxila ($-COOH$); 2) amina ($-NH_2$); 3) hidrogênio ($-H$); 4) radical ($-R$);
- b) o grupo 4 (radical).
15. I. Trata-se de RNA, pois somente esse ácido nucleico tem ribose em sua constituição.
- II. Trata-se de DNA, pois somente esse ácido nucleico tem timina em sua constituição.
- III. Trata-se de RNA, pois somente esse ácido nucleico tem uracila em sua constituição.
- IV. Trata-se de DNA, pois somente esse ácido nucleico tem desoxirribose em sua constituição.
16. Resposta pessoal.

Vestibulares pelo Brasil

Questões objetivas

1. b
2. b
3. a
4. b
5. b
6. a
7. e
8. c
9. c
10. c

11. c
12. d
13. a
14. d
15. c
16. b
17. e
18. Verdadeira, verdadeira, falsa, verdadeira, falsa
19. a
20. d

Questões discursivas

21. a) Vitamina C.
b) Atuam como cofatores em reações enzimáticas.
22. a) Polissacarídeo de origem animal: glicogênio; de origem vegetal: amido.
b) O glicogênio pode ser armazenado no fígado e nos músculos; o amido, nas sementes e em certos tipos de caules e raízes como a batata-inglesa e a mandioca.
23. a) Pela ingestão de vegetais. Porque o β -caroteno origina a vitamina A, a partir da qual é produzido o pigmento (rodopsina), necessário para a visão.
b) Estrutura de membranas celulares e controle hormonal. Esteroides: colesterol, progesterona, testosterona.
c) Animais: tecido adiposo. Vegetais: sementes e frutos.

UNIDADE B Organização e processos celulares

› CAPÍTULO 4 A descoberta da célula viva

Questões para pensar e discutir

Questões objetivas

1. c
2. b
3. a
4. b
5. a
6. c
7. c
8. b
9. d
10. b
11. c
12. b
13. d
14. c

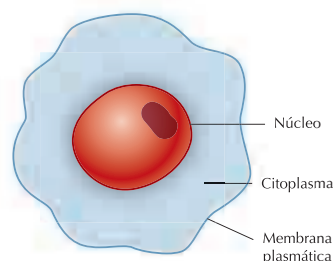
Questões discursivas

15. Alguns cientistas, época em que viveram e principais aspectos de seus trabalhos.

Cientista	Século	Principal trabalho
Antonie Leeuwenhoek	XVII	Descoberta dos seres microscópicos
Robert Hooke	XVII	Descoberta da célula
Robert Brown	XIX	Descoberta do núcleo celular
Mathias Schleiden e Theodor Schwann	XIX	Elaboração da teoria celular

16. Representação esquemática de uma célula animal, como era entendida antes de existir o microscópio eletrônico.

CÉLULA ANIMAL



17. Com aumento de 2.000 vezes, os diâmetros da imagem da célula e de seu núcleo eram, respectivamente, 17,5 cm e 4,25 cm; portanto, seus diâmetros reais na célula serão 87,5 μm e 21,25 μm .
18. Procedimento 1 (fixação): a imersão em um líquido fixador mata rapidamente as células, causando um mínimo de alteração estrutural. Esse procedimento garante que as estruturas celulares se preservem. Procedimento 2 (inclusão): é necessário embeber o material em parafina quente que, ao se solidificar, dá consistência ao tecido para que ele possa ser cortado em fatias finas. Procedimento 3 (corte histológico): para ser observado ao microscópio óptico, o material biológico precisa ser cortado em fatias finas, de tal maneira que permita a passagem de luz. Procedimento 4 (coloração): os cortes (fatias) do material biológico precisam ser corados para evidenciar suas diferentes estruturas celulares; no caso, a hematoxilina cora o núcleo celular, enquanto a eosina cora o citoplasma.
19. Comparação entre alguns aspectos de microscópios ópticos e eletrônicos.

Aspecto comparado	Microscópio óptico	Microscópio eletrônico
Tipo de lente utilizada	Lentes ópticas de vidro ou de cristal	Lentes eletromagnéticas (bobinas eletromagnéticas)
Aumentos usuais	Até 1.500X	Até 100.000X (ou mais)
Espessura requerida dos cortes histológicos	5 μm	0,05 μm
Limite de resolução	0,25 μm	0,001 μm (1nm)
Possibilidade de observar material vivo	Sim	Não

20. A divisão dos seres vivos em procarióticos e eucarióticos foi adotada apenas após a utilização do microscópio eletrônico porque só então foi possível visualizar estruturas citoplasmáticas membranosas (organelas) e a membrana do núcleo (carioteca), características de células eucarióticas e que estão ausentes em células procarióticas.

Vestibulares pelo Brasil

Questões objetivas

1. d
2. e
3. c
4. c
5. b
6. b
7. c

Questão discursiva

8. Os procariontes não apresentam núcleo organizado (ausência de carioteca). A cromatina fica dispersa pelo citoplasma. Nos eucariontes, existe núcleo organizado, com carioteca e nucléolos.

» CAPÍTULO 5

Fronteiras da célula

Questões para pensar e discutir

Questões objetivas

1. d
2. a
3. b
4. c
5. e
6. d
7. b
8. c
9. a
10. c
11. a
12. b
13. b
14. c
15. b
16. c
17. a
18. d
19. d
20. a
21. d
22. b
23. b
24. d
25. b
26. a

Questões discursivas

27. A difusão ocorrerá mais depressa no recipiente com água quente, no qual o movimento das partículas da água é mais intenso (maior energia cinética) e leva as partículas de tinta a se espalharem mais rapidamente.
28. As concentrações das soluções dos tubos e do frasco tenderão a se igualar. Assim, após algum tempo, no tubo 1 o nível de líquido deverá subir (maior quantidade de solvente tende a atravessar a membrana no sentido frasco → tubo); no tubo 2 não ocorre variação no nível de líquido (mesma quantidade de solvente tenderá a atravessar a membrana em ambos os sentidos); no tubo 3 o nível de líquido deverá abaixar (maior quantidade de solvente tenderá a atravessar a membrana no sentido tubo → frasco).
29. A manutenção da diferença de concentração de certa substância dentro e fora da célula pode ser explicada pelo seu bombeamento para o interior da célula por transporte ativo, que ocorre contra a tendência natural da difusão e com gasto de energia pela célula.
30. a) Espera-se que a concentração de cloreto de sódio diminua no tubo A e aumente no tubo B, com tendência a se igualar nos dois tubos. Isso ocorre porque o sal é capaz de atravessar a membrana.
- b) Ocorrerá osmose devido à sacarose, ou seja, ocorrerá difusão de água em maior quantidade da solução hipotônica para a hipertônica através da membrana semipermeável.
- c) O nível de líquido no tubo A deverá abaixar e no tubo B deverá subir, e a concentração de sacarose nos dois tubos tenderá a se igualar.

Vestibulares pelo Brasil

Questões objetivas

1. c
2. d
3. d
4. d
5. c
6. b
7. b
8. e
9. a
10. c
11. b
12. a
13. d
14. d
15. d
16. a

Questões discursivas

17. a) X: fosfolípido; Y: proteína.
- b) A passagem de substâncias do interior para o exterior das células pode ocorrer através das proteínas que compõem a membrana plasmática; pode ocorrer também pela fusão das bolsas de secreção com a membrana.

18. a) Os protozoários de água salgada são isotônicos em relação ao meio em que vivem, não necessitando de vacúolos pulsáteis. Já os protozoários de água doce são hipertônicos em relação ao ambiente e, por isso, recebem água continuamente por osmose, eliminando o excesso de água por meio dos vacúolos pulsáteis.
- b) Intenso ganho de água, por osmose, acarretando ruptura da célula.

» CAPÍTULO 6

Citoplasma e organelas citoplasmáticas

Questões para pensar e discutir

Questões objetivas

1. c
2. b
3. d
4. a
5. d
6. a
7. a
8. b
9. c
10. d
11. a
12. a
13. d
14. b
15. c
16. b
17. a
18. a
19. c
20. d
21. b
22. a
23. b
24. c
25. d

Questões discursivas

26. Espera-se encontrar maior quantidade de mitocôndrias em uma célula de músculo porque este, para se movimentar, consome muita energia, produzida em reações químicas mitocondriais.
27. Espera-se encontrar cloroplastos apenas nas células das folhas de uma planta, pois, diferentemente das raízes, estas ficam expostas à luz, a qual é necessária para a formação dos cloroplastos a partir de leucoplastos ou de proplastos.
28. As enzimas das secreções são produzidas nos ribossomos do retículo endoplasmático granuloso e, na sequência, são armazenadas e secretadas pelo complexo golgiense.

29.

Organela	Estrutura	Função	Ocorre em
Retículo endoplasmático não granuloso	Bolsas e tubos membranosos sem ribossomos aderidos	Síntese de ácidos graxos e de fosfolípidios; armazenamento e transporte de substâncias	Células eucarióticas: seres unicelulares e pluricelulares (vegetais e animais)
Retículo endoplasmático granuloso	Bolsas achatadas com ribossomos aderidos	Produção de proteínas	Células eucarióticas: seres unicelulares e pluricelulares (vegetais e animais)
Complexo golgiense	Sacos membranosos achatados e empilhados	Armazenamento e secreção de substâncias úteis; produção de lisossomos	Células eucarióticas: seres unicelulares e pluricelulares (vegetais e animais)
Ribossomo	Estrutura granulosa formada de duas subunidades de tamanhos diferentes	Produção de proteínas	Células eucarióticas: seres unicelulares e pluricelulares (vegetais e animais)
Lisossomo	Pequena bolsa membranosa esférica	Digestão intracelular	Células eucarióticas: seres unicelulares e pluricelulares (vegetais e animais)
Mitocôndria	Estrutura membranosa em forma de bastonete com extremidades arredondadas	Produção de energia	Células eucarióticas: seres unicelulares e pluricelulares (vegetais e animais)
Cloroplasto	Estrutura membranosa em forma de lentilha alongada	Produção de matéria orgânica	Células eucarióticas de seres unicelulares fotossintetizantes e de vegetais
Centríolo	Pequeno cilindro com parede constituída por nove conjuntos de microtúbulos	Organização do fuso mitótico; formação de cílios e flagelos	Na maioria das células eucarióticas, exceto em células de angiospermas e de algumas gimnospermas

Vestibulares pelo Brasil

Questões objetivas

1. d
2. e
3. b
4. c
5. e
6. c
7. b
8. a
9. $002 + 004 + 008 = 014$
10. a
11. e
12. c
13. b
14. c
15. a
16. d
17. a
18. c
19. d
20. d
21. d
22. d
23. d
24. a
25. e

Questões discursivas

26. Os lisossomos correspondem a bolsas membranosas repletas de enzimas digestivas. Essas enzimas são produzidas no retículo endoplasmático granuloso e empacotadas no complexo golgiense, dando origem aos lisossomos. O alimento obtido pelo processo de fagocitose será digerido pelas enzimas presentes no lisossomo. Para isso, o lisossomo deverá unir-se ao fagossomo, formando o vacúolo digestivo. Terminada a digestão, as substâncias úteis serão liberadas na célula e os resíduos serão eliminados.
27. A função autofágica dos lisossomos está relacionada à digestão de substâncias presentes na própria célula, ao passo que na função heterofágica as substâncias digeridas vêm de fora, capturadas através de processos de fagocitose ou pinocitose.
28. A célula vegetal está representada na figura B, pois ela apresenta cloroplasto e, além disso, vacúolo e parede celular. O cloroplasto.
29. A mitocôndria tem papel imprescindível no transporte ativo, que demanda o uso direto de energia do ATP, produzido sobretudo na respiração celular que ocorre nessa organela. Indiretamente ela participa da digestão intracelular, uma vez que para síntese das enzimas digestivas há necessidade de energia proveniente da respiração celular. O processo de difusão não demanda gasto de energia e, portanto, não está relacionado com as mitocôndrias.
30. a) Cloroplasto.
b) Em células vegetais (de algas e plantas).
c) Realização da fotossíntese.

› CAPÍTULO 7 Núcleo e cromossomos

Questões para pensar e discutir

Questões objetivas

1. c
2. c
3. a
4. a
5. b
6. b
7. d
8. b
9. a
10. b
11. e
12. d

Questões discursivas

13. As células precursoras das hemácias (os eritroblastos) têm núcleo enquanto estão na medula de certos ossos, onde se formam. O núcleo é eliminado da célula pouco antes de a hemácia entrar no sangue. A eliminação do núcleo pode ser explicada como uma adaptação para conter mais hemoglobina, o que permite maior transporte de gás oxigênio. Hemácias, portanto, são células eucarióticas que perdem o núcleo por diferenciação. Células procarióticas não apresentam núcleo (carioteca ausente) nem organelas membranosas citoplasmáticas, estando presentes apenas em bactérias. Portanto, o fato de não terem núcleo não implica que hemácias sejam procarióticas.
14. A análise do cariótipo de um feto revela o número, a forma e o tamanho dos cromossomos, possibilitando detectar certas alterações cromossômicas antes do nascimento da criança.

Vestibulares pelo Brasil

Questões objetivas

1. d
2. b
3. d
4. d
5. e
6. d
7. c

8. a
9. c
10. b
11. a
12. a
13. c
14. b
15. a
16. b
17. b
18. e

Questões discursivas

19. A célula que realiza intensa síntese de proteínas necessita de grande quantidade de ribossomos, que são os corpúsculos encontrados no citoplasma (livres ou associados ao retículo endoplasmático) nos quais esse processo é realizado. Nesse caso, o nucléolo deve estar bem desenvolvido, pois ele é o responsável pela fabricação desses ribossomos, que nada mais são do que RNA ribossômico produzido nessa região associado a proteínas.
20. Teria as características da espécie A, porque herdou os mesmos genes, que estão localizados nos núcleos.
21. 24 cromossomos, porque devem ser analisados: um representante de cada par dos cromossomos autossômicos e os cromossomos X e Y, que são diferentes.
22. Não. As hemácias dos mamíferos são anucleadas e, portanto, não possuem material genético para ser analisado.

» CAPÍTULO 8

Divisão celular: mitose e meiose

Questões para pensar e discutir

Questões objetivas

1. a
2. d
3. e
4. f
5. b
6. c
7. T_4
8. T_2
9. T_3
10. T_1
11. T_2
12. T_3
13. T_4
14. c

15. g
16. a
17. c
18. f
19. d
20. e
21. h
22. b
23. c
24. d
25. b
26. a
27. c
28. e
29. d, e
30. b
31. a
32. d
33. d
34. b
35. c
36. b
37. d
38. c
39. b
40. a
41. d
42. b
43. c
44. c

Questões discursivas

45. No ser humano, em 5 litros de sangue há aproximadamente $2,5 \times 10^{13}$ hemácias. Se o tempo médio de vida de uma hemácia é cerca de 120 dias, ou seja, $1,04 \times 10^7$ segundos, em 1 segundo cerca de $2,40 \times 10^6$ (2.400.000) hemácias devem ser produzidas para substituir as que são destruídas. Veja o cálculo: $2,5 \times 10^{13} / 1,04 \times 10^7 = 2,40 \times 10^6 = 2.400.000$.
46. 1) Anáfase II: os cromossomos estão migrando para polos opostos; cada um deles é constituído por uma única cromátide.
2) Telófase I: os cromossomos, constituídos por duas cromátides, descondensam-se nos polos da célula, sendo envolvidos por uma carioteca.
3) Prófase I (diplóteno): os cromossomos condensados emparelham-se dois a dois; a carioteca ainda está presente e podem ser vistos quiasmas.
4) Anáfase I: os cromossomos estão migrando para os polos da célula; cada um deles é constituído por duas cromátides.
5) Metáfase II: número haploide de cromossomos espalhados na região mediana da célula.

Vestibulares pelo Brasil

Questões objetivas

1. a
2. c
3. c
4. b
5. a
6. a
7. a
8. e
9. d
10. Verdadeiro
11. $01 + 32 = 33$
12. $01 + 02 + 04 + 08 = 15$
13. e
14. b

Questões discursivas

15. a) Na metáfase. A colchicina liga-se às moléculas de tubulina impedindo que fiquem unidas entre si e os microtúbulos se desfazem.
b) Na prófase, porque o período S não se completaria.
16. a) Na mitose conserva-se o número de cromossomos das células. Na meiose, esse número se reduz à metade.
b) A meiose, ao reduzir o número cromossômico, permite que ocorra a fecundação. Nesta, recompõe-se o número típico da espécie. A meiose também permite que ocorra maior diversidade genética graças à separação ao acaso dos cromossomos homólogos e à permutação.
17. a) No final da 1ª divisão será igual a $2x$, ao final da 2ª divisão será $4x$ e ao final da 3ª divisão será $8x$.
b) É igual a $2x$.
18. a) A = metáfase mitótica, pois temos os quatro cromossomos com cada uma de suas cromátides presa a um dos polos da célula. B = metáfase II da meiose, pois temos apenas dois cromossomos com cada uma de suas cromátides presa a um dos polos da célula. C = metáfase I da meiose, pois temos cromossomos emparelhados, formando bivalentes com cada membro do par de homólogos, com suas duas cromátides, preso a um dos polos da célula.
b) A seta indica o centrômero, que mantém as cromátides-irmãs unidas até o início da anáfase e por meio do qual o cromossomo se liga às fibras do fuso mitótico.
19. a) Serão formados dois espermatozoides sem cromossomo sexual e dois com ambos os cromossomos sexuais: um X e um Y.
b) Se um óvulo é fecundado por um espermatozoide sem cromossomo sexual, forma-se um zigoto XO, que se desenvolverá em uma pessoa com síndrome de Turner. Se um óvulo é fecundado por um espermatozoide portador de um cromossomo X e um cromossomo Y, forma-se um zigoto XXY, que se desenvolverá em uma pessoa com síndrome de Klinefelter.

20. A célula está em meiose (anáfase II), uma vez que se trata de uma célula haploide, pois os cromossomos não estão presentes aos pares, dedução feita a partir do tamanho e da forma dos cromossomos, definida pela posição do centrômero. O número diploide de cromossomos nessa espécie é $2n = 6$.
21. a) A meiose ocorre durante a formação de gametas (ou gametogênese). Podem ser citados como eventos exclusivos da meiose: emparelhamento dos cromossomos homólogos, *crossing-over* (permutação), segregação independente dos cromossomos homólogos e redução do número de cromossomos.
b) Os processos que levam à formação de células com três cromossomos 21 são: a não disjunção dos cromossomos homólogos, durante a anáfase I, e a não disjunção de cromátides-irmãs, durante a anáfase II.
22. A não disjunção foi pós-zigótica, decorrente de uma divisão mitótica anômala. Se a não disjunção tivesse ocorrido antes da fecundação, o cariótipo anormal seria detectado em todas as células pesquisadas.
23. a) As células 4 e 5 estão em interfase, fase que se caracteriza pela presença de cromossomos descondensados, de envelope nuclear e nucléolo.
b) A célula 7 encontra-se em metáfase; os cromossomos, constituídos por duas cromátides unidas pelo centrômero, prendem-se às fibras do fuso por meio dos cinetócoros e se dispõem na região mediana da célula, constituindo a placa metafásica.
c) A citocinese ocorre na telófase (figura 9) pela deposição de material constituinte da parede celular, do centro para a periferia da célula; trata-se de uma citocinese centrífuga, típica de células vegetais.

UNIDADE C O metabolismo celular

› CAPÍTULO 9 Metabolismo energético

Questões para pensar e discutir

Questões objetivas

1. d
2. c
3. c
4. b
5. d
6. d
7. a
8. e
9. b
10. a
11. c

12. a
13. d
14. c
15. b
16. d

Questões discursivas

17. A morte de pacientes que usavam DNP para fins de emagrecimento pode ser explicada pela alteração provocada no metabolismo energético das células. O DNP torna a membrana interna da mitocôndria permeável à passagem de íons H^+ , inativando o processo de produção de energia realizado pela sintase do ATP. Como consequência, não há energia para fosforilar moléculas de ADP e produzir moléculas de ATP. A ausência de produção de ATP inviabiliza praticamente todos os processos metabólicos celulares.
18. Essa equação simplificada da fotossíntese não permite identificar que todo o gás oxigênio (O_2) liberado provém de moléculas de água. Para formar 6 O_2 , como mostrado na equação, são necessárias 12 moléculas de água (H_2O), e esse é o número de moléculas que deveria constar nos reagentes. Sobrariam 6 átomos de oxigênio liberados pelo gás carbônico, os quais, na fotossíntese, originam água. Assim, se colocarmos o coeficiente 12 para as moléculas de água reagentes e 6 para as moléculas de água produzidas, a equação mostraria que 12 moléculas de água foram consumidas no processo e 6 novas foram produzidas. A equação seria: $6 CO_2 + 12 H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 + 6 H_2O$.
19. A manutenção da vida depende energia continuamente, a qual se dissipa na forma de calor e não pode ser reaproveitada pelos seres vivos. Assim, estes precisam obter continuamente energia para manter sua organização e realizar trabalho. A energia metabólica é retirada de moléculas orgânicas dos alimentos, que se transformam em substâncias inorgânicas, gás carbônico (CO_2) e água (H_2O), liberando sua energia. A reposição das moléculas orgânicas a partir dessas substâncias inorgânicas se dá por meio da fotossíntese, em que energia luminosa do Sol é transformada em energia química. É a matéria orgânica produzida na fotossíntese que serve de alimento a praticamente todos os seres heterotróficos, incapazes de sintetizar o próprio alimento. Assim, todos os seres heterotróficos, incluindo os seres humanos, dependem da luz solar para viver.

Vestibulares pelo Brasil

Questões objetivas

1. e
2. b
3. a
4. a
5. Verdadeiro

6. d
7. e
8. c
9. a
10. a
11. c
12. b
13. Falso
14. b
15. a
16. e
17. b
18. b
19. b
20. d
21. a
22. a
23. d
24. c
25. e
26. b

Questões discursivas

27. a) O açúcar representa a fonte de energia para o levedo.
b) Na presença de oxigênio, o levedo utiliza o processo de respiração aeróbia, obtendo, a partir da glicose, uma quantidade maior de energia do que a obtida em condições anaeróbias, o que favorece seu crescimento.
28. a) A glicólise ocorre no citosol.
b) Nessa fase são gastos 2 ATPs para ativar cada molécula de glicose que, transformada em 2 ácidos pirúvicos, produz 4 ATPs, ou seja, um saldo de 2 ATPs.
29. a) As células que ficam na superfície da massa realizam a respiração celular e as que ficam no seu interior, a fermentação.
b) Ambas as reações produzem CO_2 . A liberação desse gás faz a massa crescer.
30. a) Nos mamíferos, a fermentação (lática) pode ocorrer nas células musculares em condições de falta de gás oxigênio.
b) Por meio da fermentação podemos obter pão, cerveja, queijo, iogurte etc.
31. a) I é a fotossíntese, que ocorre no cloroplasto. II é a respiração aeróbia, que ocorre na mitocôndria.
b) Por meio do processo I a energia da luz é transformada em energia química nos seres fotossintetizantes e vai sustentar praticamente toda a atividade do mundo vivo. Por meio do processo II a energia armazenada nas moléculas orgânicas, originalmente por meio do processo I, é liberada para a manutenção da vida dos seres heterotróficos.

» CAPÍTULO 10

O controle gênico das atividades celulares

Questões para pensar e discutir

Questões objetivas

1. d
2. b
3. c
4. a
5. b
6. b
7. d
8. c
9. b
10. d
11. c
12. c
13. b
14. d
15. a
16. c
17. b
18. c
19. a
20. d
21. a
22. b
23. a
24. c
25. b
26. c
27. d
28. c
29. d
30. c
31. c
32. d
33. a
34. a
35. a
36. b
37. b
38. a
39. b

Questões discursivas

40. a) AUG, que corresponde ao códon de início da tradução e codifica o aminoácido metionina.
b) UGA, que corresponde ao códon de parada.
c) metionina - leucina - leucina - treonina - isoleucina.

41. As duas cadeias de DNA são:

TGACTGTACAATGAGTGATAAACTGTCATT
ACTGACATGTTACTCACTATTTGAGAGTAA

A cadeia transcrita é a superior.

Vestibulares pelo Brasil

Questões objetivas

1. d
2. b
3. c
4. c
5. e
6. d
7. b
8. c
9. c
10. c
11. e
12. a
13. e
14. e

Questões discursivas

15. a) Como $C = G$ e $C + G = 58\%$, temos $C = G = 58\% \div 2 = 29\%$. Da mesma forma, como $A = T$ e $A + T = 100\% - 58\% = 42\%$, temos $A = T = 21\%$.
b) Porque a proporção de bases apresentada refere-se às duas cadeias da molécula de DNA, não sendo possível determinar a proporção de citosina na cadeia que será transcrita.
16. Trata-se de DNA devido à presença da base nitrogenada timina. No entanto, essa molécula não é dupla porque, nesse caso, a quantidade de timina encontrada deveria ser igual à de adenina, uma vez que essas bases nitrogenadas são encontradas aos pares na dupla-hélice, unidas por pontes de hidrogênio. O mesmo deveria ser observado com relação às bases citosina e guanina, que também formam pares. Como essa relação não foi observada, o cientista concluiu que a molécula em questão era formada por um único filamento.
17. a) Os “corrimãos” correspondem às cadeias de nucleotídeos, enquanto os “degraus” correspondem aos pares de bases nitrogenadas unidas por ligações (pontes) de hidrogênio.
b) Uma das propriedades do DNA é a capacidade de permitir, através de um segmento específico (gene), a polimerização de uma nova cadeia de nucleotídeos chamada RNA. Esse processo recebe o nome de transcrição. O RNA possui em sua cadeia uma sequência de informações (bases nitrogenadas) que são utilizadas por ribossomos na organização de aminoácidos para a montagem de proteína. Esse processo recebe o nome de tradução ou síntese proteica.
c) Proteínas são macromoléculas que podem ser diferenciadas pelos tipos, números e sequência de aminoácidos.

18. Sim, pois o DNA é indiretamente responsável pela produção de proteínas, entre as quais se encontram as enzimas, que controlam todo o funcionamento celular. Uma alteração no DNA pode levar à produção de uma enzima alterada, o que pode comprometer processos cujas reações dependem da atuação daquela enzima.
19. a) Esses processos ocorrem no núcleo (transcrição) e no citoplasma (ribossomos [transcrição]).
- b) Não ocorrerá a tradução porque, com a inativação da região organizadora do nucléolo, não será produzido o RNA ribossômico que irá formar os ribossomos.

UNIDADE D A diversidade celular dos animais

› CAPÍTULO 11 Tecidos epiteliais e tecidos conjuntivos

Questões para pensar e discutir

Questões objetivas

1. d
2. c
3. b
4. d
5. c
6. c
7. a

Questões discursivas

8. A epiderme renova-se continuamente devido à atividade das células da camada germinativa; as novas células produzidas nessa camada vão empurrando as células mais externas. À medida que são empurradas para a superfície, as células produzidas na camada germinativa sofrem diversas transformações: achatam-se, ancoram-se às vizinhas, secretam substâncias impermeabilizantes entre as células, produzem queratina e terminam por perder o núcleo, tornando-se placas em forma de escama. Em outras palavras, a epiderme é dinâmica, e as células geradas na camada basal vão gradativamente se transformando nas camadas espinhosa, granulosa e córnea, finalmente se desprendendo e sendo eliminadas.
9. Tomar sol é benéfico à saúde, mas deve-se evitar a exposição no período entre 10 e 16 horas, quando é maior a incidência de radiação ultravioleta do tipo A, que pode danificar a pele, causando-lhe queimaduras e envelhecimento precoce. Pessoas de pele clara e com muitas pintas devem sempre usar um protetor solar que bloqueie tanto os raios UVA como os UVB. Nunca se deve utilizar óleos ou produtos caseiros que, além de não protegerem a pele, podem produzir irritações cutâneas. Sabe-se que muitos tipos de câncer de pele surgem a partir de pintas e manchas escuras, muitas delas causadas pelo sol.

10. A: medula óssea;
B: células ósseas;
C: células sanguíneas;
D: matriz extracelular;
E: minerais.

11. A osteoporose pode ser causada por diversos fatores, um deles é a produção excessiva do paratormônio, secretado pelas glândulas paratireóideas. Esse hormônio estimula o aumento do número de osteoclastos, que digerem a matriz óssea, causando sua degeneração, com consequente fraqueza óssea. A osteoporose também pode ser causada pela deficiência de vitamina A, pois sabe-se atualmente que uma das funções dessa vitamina é equilibrar a atividade de osteoblastos e osteoclastos, regulando assim a contínua reconstrução óssea. Assim, a ingestão dessa vitamina ou de substâncias ricas em betacaroteno (cenoura, beterraba etc.) previne a osteoporose. O exercício físico estimula a osteogênese e pode ajudar a prevenir e a combater os efeitos da osteoporose, principalmente em pessoas de idade avançada. Além disso, a falta de cálcio na alimentação durante a infância, e também a falta de vitamina D, pode levar ao raquitismo, com problemas no crescimento e deformações ósseas. Nos adultos, a deficiência de cálcio ou de vitamina D pode levar à osteomalacia, que se caracteriza por fragilidade dos ossos e maior suscetibilidade a fraturas.

Vestibulares pelo Brasil

Questões objetivas

1. d
2. c
3. c
4. b
5. c
6. a
7. c
8. d
9. e
10. b
11. b
12. a

Questões discursivas

13. O suor, ao evaporar, absorve grande quantidade de calor do corpo, resfriando-o. Quando a temperatura do corpo sobe, impulsos nervosos provocam dilatações dos vasos sanguíneos dérmicos, fazendo com que maior quantidade de sangue passe a circular na pele. Com isso, aumenta a irradiação de calor para o meio e o corpo esfria.
14. Glândulas exócrinas são aquelas que lançam suas secreções para fora do corpo ou para a cavidade dos órgãos, como as glândulas salivares. Glândulas endócrinas são aquelas que lançam suas secreções diretamente no sangue, como a glândula tireóidea.

15. O pâncreas é considerado uma glândula de secreção mista ou anfícina. A parte exócrina lança sua secreção no duodeno. Essa secreção é o suco pancreático, que contém bicarbonatos e enzimas digestivas. A parte endócrina secreta hormônios, entre os quais a insulina, responsável pelo controle do teor de açúcar no sangue.

› CAPÍTULO 12

Tecido sanguíneo

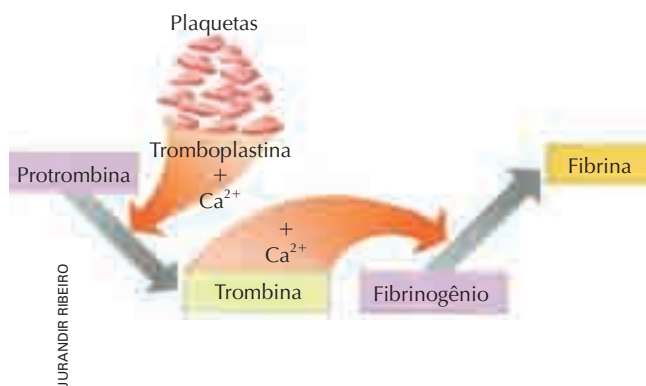
Questões para pensar e discutir

Questões objetivas

1. e
2. f
3. a
4. b
5. c
6. d
7. f
8. a
9. c

Questão discursiva

10.



Vestibulares pelo Brasil

Questões objetivas

1. e
2. d
3. e
4. d
5. e
6. a
7. a
8. a
9. b

Questões discursivas

10. Uma das funções do sangue é levar oxigênio e nutrientes a todas as células. Estas, realizando a respiração celular, obtêm energia para realizar todas as funções.
11. Paciente X. A quantidade de plaquetas é menor que a normal, e essas células são essenciais para a coagulação sanguínea.

› CAPÍTULO 13

Tecidos musculares e tecido nervoso

Questões para pensar e discutir

Questões objetivas

1. d
2. a
3. b
4. c
5. d
6. d
7. a
8. c
9. a
10. a
11. c

Questões discursivas

12. a) Um atleta especialista em corrida de 100 metros rasos, para obter o máximo desempenho nessa especialidade, precisa desenvolver em seus músculos miosina do tipo II (rápida), uma vez que esse tipo de miosina contrai cerca de dez vezes mais rapidamente que a do tipo I.
b) O atleta deverá iniciar o treinamento até três meses antes da competição prevista para setembro, ou seja, até julho. Seria melhor treinar até o dia da competição, pois a inatividade acarreta a redução da miosina que foi desenvolvida no período de treinamento.
13. Ao se combinar aos receptores de acetilcolina, o curare impede a transmissão do impulso nervoso, causando paralisia muscular. Os movimentos respiratórios cessam e ocorre a morte do animal.

Vestibulares pelo Brasil

Questões objetivas

1. e
2. e
3. a
4. c
5. c
6. c
7. c
8. e

Questões discursivas

9. a) Velocista: IIB; maratonista: I.
b) Na fibra do tipo I, há um maior número de mitocôndrias, onde ocorrem o ciclo de Krebs e a cadeia transportadora de elétrons, que fornecem o ATP (energia) para uma atividade física de longa duração e de pequena intensidade, como a maratona.
10. O biólogo referiu-se ao tecido nervoso, pois é nele que se encontram os neurônios, cujas extremidades axônicas liberam neurotransmissores que geram novos impulsos em neurônios adjacentes.
11. Neurônio é a célula nervosa. Nervo é um conjunto de neurofibras (axônio, dendritos ou ambos) envolvidas por tecidos conjuntivos protetores.
12. a) O sentido de propagação é de II para I.
b) A transmissão mediada por neurotransmissores liberados no espaço sináptico.
c) Os neurotransmissores são secretados pelas terminações dos axônios, estimulando os dendritos a gerar um potencial de ação de natureza elétrica, que se propaga até as extremidades axônicas do neurônio estimulado.

UNIDADE E Reprodução e desenvolvimento

› CAPÍTULO 14 Reprodução humana

Questões para pensar e discutir

Questões objetivas

1. b
2. c
3. a
4. d, e
5. d
6. d
7. d
8. b
9. c
10. d
11. b
12. a
13. d
14. d
15. a
16. c

Questão discursiva

17. a) As relações sexuais (sem outros cuidados) devem ser evitadas entre o 7º e o 19º dia (inclusive) após o início do ciclo menstrual.

- b) As relações sexuais (sem outros cuidados) devem ser evitadas entre o 9º e o 14º dia (inclusive) após o início do ciclo menstrual.

Vestibulares pelo Brasil

Questões objetivas

1. e
2. e
3. b
4. c
5. c
6. c

Questão discursiva

7. a) Ocorre nos ovidutos.
b) Flagelo.
c) Zona pelúcida.

› CAPÍTULO 15 Noções de embriologia animal

Questões para pensar e discutir

Questões objetivas

1. c
2. d
3. b
4. d
5. b

Questões discursivas

6. Em A, as oito células que se formam após a terceira clivagem não diferem muito em tamanho; em B, as células que se formam no polo animal são muito menores que as do polo vegetativo. Essa diferença decorre do fato de o ovo de anfioxo ter pouco vitelo (ovo oligolécito), apresentando clivagens completas, com a formação de blastômeros quase de mesmo tamanho, enquanto o ovo de anfíbio tem vitelo concentrado em um dos polos (ovo heterolécito) e as clivagens, apesar de completas, dão origem a blastômeros grandes, ricos em vitelo (macrômeros), e blastômeros pequenos, quase sem vitelo (micrômeros).
7. Com relação ao esquema 1:
a) o embrião representado encontra-se em fase de gástrula jovem.
b) a1: ectoderma; b1: endoderma; c1: arquêntero; d1: blastóporo.
- Com relação ao esquema 2:
a) o estágio de desenvolvimento que está se iniciando é o de nêurula.
b) a2: ectoderma; b2: mesoderma (futuro somito); c2: arquêntero; d2: celoma (início de formação); e2: placa neural; f2: notocorda em formação.
c) Ver desenho da figura 15.9, sobre o desenvolvimento do anfioxo.

Vestibulares pelo Brasil

Questões objetivas

1. 04
2. d
3. a
4. a, b, d, e
5. b
6. d
7. d
8. a

Questão discursiva

9. a) A; zigoto ou célula-ovo. B: mórula. C: blástula. D: gástrula. E: nêurula.
b) A: célula-ovo ou zigoto. B: mórula, com blastômeros indiferenciados. C: blástula, com blastoderma e cavidade chamada blastocela. D: gástrula, com dois tecidos embrionários, o ectoderma e o mesentoderma; cavidade digestória primitiva, o arquêntero. E: nêurula, com tubo neural, notocorda e celoma.

» CAPÍTULO 16 Desenvolvimento embrionário de mamíferos

Questões para pensar e discutir

Questões objetivas

1. c
2. b
3. a
4. c
5. b
6. d
7. e
8. c
9. b
10. d

Questões discursivas

11. A) Ovário.
B) Tuba uterina.
C) Útero.
D) Endométrio.
12. 1) Ovulação.
2) Fecundação.
3) Primeira segmentação (mitose).
4) Embrião no estágio de dois blastômeros.
5) Mórula.

6) Blastocisto.

7) Implantação do blastocisto no endométrio (nidadação).

13. O embrião permanece no interior da membrana pelúcida (capa gelatinosa que envolvia o gameta feminino) até chegar ao útero, portanto, entre os estágios 5 e 6 indicados na figura. A membrana pelúcida impede a implantação do embrião na tuba uterina.
14. 1) Cório.
2) Âmnio.
3) Alantoide.
4) Saco vitelínico.
15. 5.
16. A região do cório, que compõe a parte embrionária da placenta.

Vestibulares pelo Brasil

Questões objetivas

1. c
2. c
3. e
4. e
5. c
6. e
7. d
8. a
9. b
10. a
11. b
12. $(002) + (008) + (032) = 42$
13. a

Questões discursivas

14. Através da placenta e do cordão umbilical.
15. a) Sobre a paternidade de Alfredo, porque seus supostos pais são geneticamente diferentes (os pais formaram-se de dois óvulos e de dois espermatozoides diferentes).
b) A outra criança (Renato) não pôde ter a paternidade identificada porque seus supostos pais são geneticamente iguais (os pais formaram-se do mesmo zigoto).
16. a) A separação de células originadas de um único zigoto, produzindo gêmeos idênticos, ou monozióticos. A fecundação de dois ou mais óvulos por um número correspondente de espermatozoides, produzindo gêmeos fraternos, ou dizigóticos.
b) No caso acima, os gêmeos são dizigóticos, originados pela fecundação de dois óvulos por dois espermatozoides.

SIGLAS DE VESTIBULARES

Sigla	Nome oficial
Acafe-SC	Associação Catarinense das Fundações Educacionais
Cesesp-PE	Centro de Seleção ao Ensino Superior de Pernambuco
Cesgranrio-RJ	Fundação Cesgranrio (UFRJ, UFF, Unirio, Cefet, Uerj, PUC, UGF, USU, UCP e Cesva)
Cesmac/Fejal-AL	Centro de Estudos Superiores de Maceió/Fundação Educacional Jayme de Altavila
Cesupa-PA	Centro de Ensino Superior do Pará
Efoa-MG	Escola de Farmácia e Odontologia de Alfenas
Enem-MEC	Exame Nacional do Ensino Médio
Faap-SP	Fundação Armando Álvares Penteado
Fatec-SP	Faculdade de Tecnologia de São Paulo (Ceeteps-SP)
Fazu-MG	Faculdade de Agronomia e Zootecnia de Uberaba
FCC-BA	Fundação Carlos Chagas da Bahia
FCC-SP	Fundação Carlos Chagas de São Paulo
FCM-MG	Fundação CefetMinas
FMU/Fiam-Faam/Fisp-SP	Vestibular integrado FMU, Fiam-Faam e Fisp (ver UniFMU)
Fuvest-SP	Fundação Universitária para o Vestibular
Mackenzie-SP	Universidade Presbiteriana Mackenzie
PUC-Minas	Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (em uso a partir de 2002)
PUC-RS	Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
PUC-SP	Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
U. São Judas-SP	Universidade São Judas Tadeu
UCB-DF	Universidade Católica de Brasília
UCG-GO	Universidade Católica de Goiás
UCS-RS	Universidade de Caxias do Sul
Udesc	Universidade do Estado de Santa Catarina (antiga Uesc)
Uece	Universidade Estadual do Ceará
UEG-GO	Universidade Estadual de Goiás
UEL-PR	Universidade Estadual de Londrina
UEMG	Universidade do Estado de Minas Gerais
UEMS	Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Uepa	Universidade do Estado do Pará
UEPB	Universidade Estadual da Paraíba
UEPG-PR	Universidade Estadual de Ponta Grossa
Uerj	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Uesb-BA	Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
UEMS	Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Uespi	Universidade Estadual do Piauí
Ufac	Fundação Universidade Federal do Acre
Ufam	Universidade Federal do Amazonas
UFBA	Universidade Federal da Bahia
UFC-CE	Universidade Federal do Ceará
UFCG-PB	Universidade Federal de Campina Grande
Ufes	Universidade Federal do Espírito Santo
UFF-RJ	Universidade Federal Fluminense

UFG-GO	Universidade Federal de Goiás
Ufla-MG	Universidade Federal de Lavras
UFMA	Fundação Universidade Federal do Maranhão
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UFMS	Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
UFMT	Fundação Universidade Federal de Mato Grosso
UFPA	Universidade Federal do Pará
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UFPel-RS	Fundação Universidade Federal de Pelotas
UFPI	Fundação Universidade Federal do Piauí
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UFRGS-RS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UFRRJ	Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UFSCar-SP	Fundação Universidade Federal de São Carlos
UFSM-RS	Universidade Federal de Santa Maria
UFS-SE	Fundação Universidade Federal de Sergipe
UFU-MG	Fundação Universidade Federal de Uberlândia
UFV-MG	Fundação Universidade Federal de Viçosa
UMC-SP	Universidade de Mogi das Cruzes
Unama-PA	Universidade da Amazônia
UnB-DF	Fundação Universidade de Brasília
Unesp	Universidade Estadual Paulista
Unicamp-SP	Universidade Estadual de Campinas
Unicuritiba-PR	Centro Universitário Curitiba
Unifacs-BA	Universidade Salvador
Unifal-MG	Universidade Federal de Alfenas
Unifap	Fundação Universidade Federal do Amapá
Unifesp	Universidade Federal de São Paulo
Unifor-CE	Universidade de Fortaleza
Unigranrio-RJ	Universidade do Grande Rio
Unimontes-MG	Universidade Estadual de Montes Claros
Unioeste-PR	Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Unip-SP	Universidade Paulista
Unir-RO	Fundação Universidade Federal de Rondônia (antiga UFRO)
Uniube-MG	Universidade de Uberaba
UPF-RS	Universidade de Passo Fundo
Urcac-CE	Universidade Regional do Cariri
USJ-SC	Centro Universitário Municipal de São José
Vunesp	Fundação para o Vestibular da Unesp

- AINSWORTH, B. E.; HASKELL, W. L.; LEON, A. S.; JACOBS, D. R. Jr.; MONTOYE, H. J.; SALLIS, J. F.; PAFFENBARGER, R. S. Jr. Compendium of Physical Activities: classification of energy costs of human physical activities. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 25(1): 71-80, 1993.
- ALBERTS, B.; DENNIS, B.; LEWIS, V. *Biologia molecular da célula*. 4. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2004.
- ALLÈGRE, C. J.; SCHNEIDER, S. H. The Evolution of the Earth. *Scientific American*, v. 271, n. 4, p. 44-51, 1994.
- ALVES, R. *Filosofia da ciência: introdução ao jogo e suas regras*. 18. ed. São Paulo: Brasiliense, 1993.
- ANDERSEN, J. L.; SCHJERLING, P.; SALTIN, B. Muscle, Gene and Athletic Performance. *Scientific American*, v. 283, p. 30-37, set. 2000.
- BEIGUELMAN, B. *O estudo de gêmeos*. Disponível em: <www.desvirtual.com/bbeiguel/ebook.htm>. Acesso em: mar. 2010.
- BERNSTEIN, M.; SANDFORD, S. A.; ALLAMONDOLA, L. J. Life's FarFlung Raw Material. *Scientific American*, v. 281, n. 1, p. 26-33, 1999.
- BRENNAM, R. *Gigantes da Física: uma história da Física através de oito biografias*. Rio de Janeiro: Zahar, 1998.
- CAMPBELL, N. A.; REECE, J. B. *Biology*. 8. ed. Menlo Park (CA): Benjamin/Cummings, 2007.
- CAMPBELL, N. A.; REECE, J. B.; MITCHELL, L. G. *Biology*. 5. ed. Menlo Park (CA): Benjamin/Cummings, 1999.
- COOPER, G. M. *The Cell: A Molecular Approach*. 2. ed. Sunderland (MA): Sinauer, 2000.
- COPLY, J. Proof of Life. *New Scientist*, v. 177, n. 2.383, p. 28-31, 2004.
- de DUVE, C. O lisossomo. In: KENNEDY, D. et al. (ed.) *A célula viva*. Textos do Scientific American. São Paulo: EDUSP/Polígono, 1969.
- DUNBAR, R. I. M. *The Trouble with Science*. Cambridge (MA): The Harvard University Press, 1995.
- EL-HANI, C. N.; VIDEIRA, A. A. P. (orgs.). *O que é vida?: para entender a Biologia do século XXI*. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 2000.
- FARREL, J. *A assustadora história das pestes e epidemias*. Rio de Janeiro: Ediouro, 2003.
- FOUCAULT, M. *As palavras e as coisas*. São Paulo: Martins Fontes, 1987.
- FREIRE-MAIA, N. *A ciência por dentro*. 2. ed. Petrópolis: Vozes, 1992.
- GARCIA, S. M. L.; FERNÁNDEZ, C. G. *Embriologia*. 2. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2001.
- GILBERT, S. F. *Developmental Biology*. 8. ed. Sunderland (MA): Sinauer, 2006.
- GOULD, S. J. *Quando as galinhas tiveram dentes*. Lisboa: Gradiva, 1989.
- GRIFFITHS, A. V. F.; WESSLER, S. R.; LEWONTIN, R. C.; CARROLL, S. B. *Introdução à Genética*. 9. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.
- HARRIS, H. *The Birth of the Cell*. New Haven/Londres: Yale University Press, 1999.
- HOAGLAND, M.; DODSON, B. *The Way Life Works*. Nova York: Times Books/Random House, 1995.
- HOUILLON, C. *Embriologia*. São Paulo: Edgard Blücher/Edusp, 1972.
- HUETTER, A. E. *Fundamentals of Comparative Embriology of the Vertebrates*. Ed. rev. Nova York: Macmillan, 1949.
- JACOB, F. *A lógica da vida: uma história da hereditariedade*. Rio de Janeiro: Graal, 1983.
- KOPPEL, T. Learning how bacteria swim could set new gears in motion. *Scientific American*, v. 265, n. 3, p. 168-169, 1991.
- KRUIF, P. *Caçadores de micróbios*. Rio de Janeiro: José Olympio, 1939.
- LODISH, H.; BERK, A.; MATSUDAIRA, P.; KAISER, C. A.; KRIEGER, M.; SCOTT, M. P.; ZIPURSKY, S. L.; DARNELL, V. *Biologia Celular e Molecular*. 5. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2005.
- MADER, S. S. *Biology*. 8. ed. Boston: McGraw-Hill, 2004.
- MARGULIS, L.; SAGAN, D. *Microcosmos: Four Billion Years of Microbial Evolution*. Londres: Allen & Unwin, 1987.
- MAYNARD SMITH, J. *The Problems of Biology*. Oxford: Oxford University Press, 1986.
- MAYR, E. *The Growth of Biological Thought: Diversity, Evolution, and Inheritance*. Cambridge (MA): Cambridge University Press/The Belknap Press, 1982.
- ORGE, L. O. The Origin of Life on the Earth. *Scientific American*, v. 271, n. 4, p. 53-61, 1994.
- PARCECER, S.; AHMADJIAN, V. *Symbiosis: An Introduction to Biological Associations*. 2. ed. Nova York: Oxford University Press, 2000.
- PERONSE, L. S.; SMITH, G. F. *Down's Anomaly*. Boston: Little, Brown, 1966.
- POSTGATE, J. *Microbes and Man*. 4. ed. Cambridge (MA): Cambridge University Press, 2000.
- RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. *Biologia vegetal*. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.
- RAW, I.; MENNUCCI, L.; KRASILCHIK, M. *A Biologia e o homem*. São Paulo: Edusp, 2001.
- RAWN, J. D. *Biochemistry*. Burlington: Neil Patterson, 1989.
- SCOTT, A. *Piratas da célula*. Lisboa: Edições 70, 1987.
- SHERMAN, I. W.; SHERMAN, V. G. *The invertebrates: function and form*. A laboratory guide. The Macmillan Company: London, 1970.
- STANDRING, S. (org.). *Gray's Anatomy: the Anatomical Basis for Clinical Practice*. 39. ed. Nova York: Elsevier Churchill Livingstone, 2005.
- TORTORA, G. V.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. *Microbiologia*. 8. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2005.
- VINES, G. Mass Extinctions. *New Scientist*, v. 164, n. 2.216, p. 1-4, 1999.
- VOLGELSTEIN, B.; KINZLER, K. W. The multistep Nature of Cancer. *Trends in Genetics*, n. 9, p. 138-141, 1993.
- WALKER, G. Ice Magic. *New Scientist*, v. 178, n. 2.390, p. 30-34, 2003.
- WOLPERT, L.; VESSELL, T.; LAWRENCE, P.; MEYEROWITZ, E.; ROBERTSON, E.; SMITH, V. *Princípios de Biologia do Desenvolvimento*. 3. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2008.
- ZIMAN, J. *Conhecimento público*. Belo Horizonte/São Paulo: Itatiaia/Edusp, 1979.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aberrações cromossômicas, 162
Abiogênese, *ver* geração espontânea
Absorção de luz na fotossíntese, *ver* luz (absorção)
Aceptor de elétron, 200
Aceptor de hidrogênio, *ver* aceptor de elétrons
Acetabularia, 227
Acetil-CoA, *ver* coenzima A
Acetil-coenzima A, *ver* coenzima A
Acetilcolina, *ver* neurotransmissor
Ácido cítrico, *ver* ciclo de Krebs
Ácido desoxirribonucleico, *ver* DNA
Ácido fosfórico, *ver* ácido nucleico, ATP, DNA e RNA
Ácido graxo, 73
Ácido nucleico (composição e estrutura geral), 86, *ver* também DNA e RNA
Ácido oxalacético, *ver* ciclo de Krebs
Ácido pirúvico, 199
Ácido ribonucleico, *ver* RNA
Acidófilo, *ver* eosinófilo
Aconselhamento genético, 159
Acrocêntrico, *ver* cromossomo (tipos)
Acrossomo, (formação) 134, (papel na fecundação) 293
Actina, (na contração muscular) 272, *ver* também microfilamento
Açúcar, *ver* glicídios
Açúcar de cana, *ver* sacarose
Adaptação, (conceito) 37
Adenina, 86, 86i, 196, 220, *ver* também ácido nucleico, ATP, DNA e RNA
Adenosina, *ver* ADP e ATP
Adipócito, 241i, 243, 244
ADP (ou difosfato de adenosina, ou adenosina difosfato), 197, *ver* também ATP
Adrenalina (ou epinefrina), *ver* neurotransmissor
Aeróbico, 205, *ver* também anaeróbico
Água
– adesão, 67
– calor específico, 66
– calor latente de fusão, 67
– calor latente de vaporização, 67
– coesão, 67
– como moderador de temperatura, 66
– como produto de reação química, *ver* síntese por desidratação
– como reagente, *ver* reação de hidrólise
– estrutura molecular, 65
– solvente universal, 66
Alantocório (ou corioalantoide), 317, 317i
Alantoide, 316, 317i
Albume, 316i, 317i
Albumina, *ver* plasma sanguíneo
Alécito, *ver* ovo (tipo)
Alimento, (energia do) 194
Ameba, (movimento ameboide) 141
Amido, 70, 71 (síntese na fotossíntese) 213
Amilase salivar (ou ptialina), 81
Amilopectina, 81
Amiloplasto, *ver* leucoplasto
Amilose, 81

Aminoácido 66, 76
– essencial, 79
– fórmula geral, 77
– não essencial (ou natural), 79
Âmnio, 316, 316i, 317i, 331i7
AMP, (monofosfato de adenosina ou adenosina monofosfato) 197i, *ver* também ADP e ATP
Anabolismo, 34, 195
Anaeróbico, 205, *ver* também aeróbico
Anáfase da mitose, 168i, 171i, 174, (em raiz de cebola) 175
Anáfase I da meiose, 183, 184i, 185i
Anáfase II da meiose, 183, 184i, 185i
Anatomia, 22
Anemia, 260
Anemia falciforme, *ver* Siclemia
Anexo embrionário, 316, 317, 317i
Anfíbio, (desenvolvimento embrionário) 306, 308, 309, 312i
Anfioxo, (desenvolvimento embrionário) 308, 309, 313, 314, 315
Angiogênese, *ver* câncer
Angstrom, 97
Antibiótico, (ação sobre ribossomos) 128
Anticódon, 226
Anticorpo, 259, 263
Antraz (ou carbúnculo), 48
Aparelho, *ver* sistema
Aparelho de Golgi, *ver* complexo golgiense
Aparelho mitótico, *ver* fuso acromático
Apoenzima, 82
Apoptose, 178, 179
Appert, Nicholas, 46
Área pelúcida, *ver* epiblasto
Aristóteles, *ver* geração espontânea
Arquea (ou **arqueobactéria**), 33, 34, 55, 57
Arquêntero (ou **gastrocela**), 309, 312i, 313i, 314, 315i, 317i
Arqueobactéria, *ver* arquea
Arrhenius, Svante August, *ver* panspermia
Asbestose, *ver* lisossomo e doenças
Áster, 172, 173i
Astrócito, 277i, 280
Atmosfera primária, *ver* Terra (atmosfera primitiva)
Átomo, 32, 33, *ver* também Vida, níveis de organização
ATP (ou trifosfato de adenosina, ou adenosina trifosfato)
– estrutura química, 196
– formação, 197, 202, 205, 211
– papel na contração muscular, 198
– papel no metabolismo, 197, 198i
– papel no transporte ativo, 197, 202i
– síntese por quimiosmose, 203, *ver* também teoria quimiosmótica
Autofagia, *ver* lisossomo
Autofecundação, 36
Autossomo, 157
Autotrófico, 54
Avitaminose, 84
Axônio, 277, *ver* também neurônio

B

Baço, 243, 252, 257
Bactéria, *ver* também célula procariótica, cromossomo bacteriano e plasmídios
– fotossintetizante, *ver* cianobactéria
– Gram positiva e Gram negativa, *ver* parede celular bacteriana
– tamanho e forma da célula, 96, 105i

Bainha de mielina, *ver* estrato mielinico
Bandas (músculo estriado) A, H e I, 271
Base nitrogenada, *ver* ácido nucleico
Basófilo, 256i, 262
Bebê de proveta, 296
Benson, Andy, 211
Beribéri, 85
Bernard, Claude, 95
1,5-bifosfato de ribulose, 296
Biocenose, *ver* comunidade biológica
Biogênese, 44
Biologia, (conceito) 18
Bioquímica, 64
Biosfera, 39
Bivalente, 181
Blastocela, 308, 309i, 314i
Blastocisto, 324, 325
Blastodisco, 308
Blastômero, 306
Blastóporo, 309
Blástula, (tipos) 308
Bolor negro do pão (*Rhizopus*), *ver* esporulação
Bolsa amniótica, *ver* âmnio
Bomba de sódio-potássio, 116, 117
Botânica, 20
Brown, Robert, 96
Bulbo terminal de Krause, 247

C

Cabelo, *ver* pelo
Cadeia carbônica, *ver* substância orgânica
Cadeia respiratória, *ver* cadeia transportadora de elétrons
Cadeia transportadora de elétrons, (na respiração celular) 202, (na fotossíntese) 210
Cálcio, (papel na contração muscular) 271
Calor de fusão, *ver* água
Calor de vaporização, *ver* água
Calor específico, *ver* água
Caloria, *ver* quilocaloria
Calvin, Melvin, 211
Camada de ozônio, 56
Camisinha, (contraceptivo) 297, 298
Canal de Havers, *ver* sistema haversiano
Câncer, 178, (taxa de incidência) 179, (origens) 178
Canguru, *ver* marsupial
Carboidrato, *ver* glicídio
Carbúnculo, *ver* antraz
Carcinoma, *ver* câncer
Cariolinfa, (ou nucleoplasma) 155
Carioteca, *ver* envelope nuclear
Cariótipo, 160, (humano)
Caroteno, *ver* carotenoide
Carotenoide, 74, 75
Cartilagem, *ver* tecido cartilaginoso
Catabolismo, 34, 195
Catalase, 136
Catalisador biológico, *ver* enzima
Cavidade subgerminal, 308i
Cebola, *ver* técnica citológica, esmagamento
Cech, Thomas R., 53, *ver também* RNA (mundo do)
Celoma, 313, 315i, 317i

Célula, *ver também* vida (níveis de organização)
 – acinosa do pâncreas, 133i
 – adiposa, *ver* adipócito
 – animal (aspectos gerais), 130i
 – CD4 e CD8, *ver* linfócito T
 – conceito, 33
 – da mucosa bucal, 100
 – de Merkel (ou disco de Merkel), 247
 – de raiz de cebola, 100
 – de Schwann, 277i, 278i, 280, 281i
 – diploide, 158
 – eucariótica (aspectos gerais), 33, 105, (origem evolutiva), 57, 58i, 59
 – germinativa primordial, *ver* linhagem germinativa
 – glial, *ver* gliócito
 – haploide, 158
 – mesenquimatosa, 241i, 243, 244, 251, 252
 – movimentação, 111i
 – multipotente, 244, 258
 – muscular, 268
 – origem do termo, 94
 – partes fundamentais, 96
 – procariótica (aspectos gerais), 33, 105, 128, 129
 – sanguínea, *ver* tecido sanguíneo
 – tronco, *ver* célula multipotente
 – vegetal, (osmose) 116, (organização geral) 96, 130i
Celulose, 70, (fórmula), *ver* parede celular celulósica
Centrífuga, 106, 107i
Centríolo, 142
Centro ativo enzimático, 81
Centro celular, *ver* centróssomo
Centro de reação (fotossíntese), *ver* fotossistema
Centro organizador de microtúbulos, *ver* centróssomo
Centrolécito, *ver* ovo (tipo)
Centrômero, 156
Centrôssomo (ou **centro celular**), 140, (nas divisões celulares) 172
Cera, 73-74
Cérvix uterino (ou colo uterino), *ver* útero
Cesariana, *ver* parto
Cianobactéria, 52, 55, 56
Cicatrização, *ver* fibroblasto
Ciclo celular,
 – duração, 168
 – em células embrionárias, 170
 – etapas, 168, 169
 – ponto de checagem, 177
 – regulação, 177
 – variação do conteúdo de DNA, 169
Ciclo das pentoses (ou **de Calvin-Benson**), 211, 212
Ciclo de Calvin-Benson, *ver* Ciclo das pentoses
Ciclo de Krebs (ou **ciclo do ácido cítrico**) 200-201
 (resultado líquido), *ver também* respiração celular
Ciclo do ácido cítrico, *ver* ciclo de Krebs
Ciclo menstrual, 289
Ciclose, 141
Cílio, 142
Cinetócoro, 173
Cissiparidade, *ver* divisão binária
Citocinese, 176, (na meiose) 183
Citocromo, *ver* cadeia transportadora de elétrons
Citoesqueleto, 80, 130, 139, 172, *ver* célula (movimentação)
Citologia, 93

Citoplasma,

- constituição básica, 128
- de células eucarióticas, 130
- de células procarióticas, 128-129
- etimologia, 96
- organização geral, 128

Citosina, 86, *ver também* ácido nucleico, DNA e RNA

Citosol, (conceito) 128, 130

Citotrofoblasto, 328

Clasmocitose, *ver* lisossomo

Clitóris, *ver* pudendo feminino

Clivagem, *ver* segmentação

Clorofila

- absorção de luz, 210
- excitação pela luz, 210
- fórmula, 209
- tipos, 209i

Cloroplasto

- estrutura, 145, 209
- etapas da fotossíntese, 210, 212i

Coagulação do sangue, 264

Código genético, 223, 227

Códon, 227, *ver também* código genético

Coenzima, 82

Coenzima A (ou **CoA**), 200, *ver também* respiração celular

Coesina, 156, 181

Cofator enzimático, 82

Coito interrompido, 297

Colágeno, *ver* fibra colágena

Colcemide, 174

Colchicina, 159, 174

Cólera, *ver* Koch, Robert

Colesterol, 74, 75-76

Colo uterino (ou **cérvix uterino**), *ver* útero

Coloração, *ver* técnica citológica

Combustão da glicose, 195

Complexo de Golgi, *ver* complexo golgiense

Complexo do poro, *ver* poro nuclear

Complexo golgiense

- estrutura, 132
- papel na formação do acrossomo, 134
- papel na secreção celular, 132, 133, 134

Complexo sinaptônêmico, 181

Composto orgânico, (síntese pré-biótica) 52

Comunidade biológica, 39

Condensina, 172

Condroblasto, 244, 251

Condrócito, 251

Conhecimento científico, (natureza) 26, 27

Contração muscular

- dinâmica, 272
- involuntária, 272, 273
- mecanismo, 198, 271i, 272
- voluntária, 269

Contraceção, 297

Corante, *ver* técnica citológica

Corante vital, *ver* técnica citológica

Corda dorsal, *ver* notocorda

Cordão umbilical, 330

Cório (ou **serosa**), 317

Corioalantoide, *ver* alantocório

Corpo amarelo (ou **corpo-lúteo**), *ver* ovulação

Corpo celular, *ver* neurônio

Corpo-lúteo (ou **corpo amarelo**), *ver* ovulação

Corpúsculo de Meissner, 247

Corpúsculo de Paccini, 247

Corpúsculo polar, *ver* ovulogênese

Corte, *ver* técnica citológica

Cortiça, (estrutura microscópica) 94

Crescimento, 35

Crick, Francis, 220, 221i, 223

Crista neural, (em anfíbio) 312i

Cromátide, 156i

Cromátide-irmã, (separação nas divisões celulares) 174

Cromatina, 153i, 154-155, 172

Cromômero, 181, 184i

Cromoplasto, 145

Cromossomo

- aspectos gerais, 155, 156
- bacteriano, 129
- componentes químicos e arquitetura, 155-156
- condensação, 156, (na mitose) 172 (na meiose) 180, 181, 184i
- descondensação, (na mitose) 168i, 171i, 174
- duplicação, 168i, 169
- homólogos, 158
- humanos, 160, (técnica de preparação) 159
- migração na anáfase, 171i, 174
- não disjunção, 174
- não sexual, *ver* autossomo
- organizador do nucléolo, 155
- sexual, 157
- união ao fuso acromático, 182
- tipos (quanto à posição do centrômero), 156-157

Crossing-over, *ver* permutação cromossômica

Cuíca, *ver* marsupial

D

Darwin, Charles, 20, 37, 43

Descartes, René, *ver* geração espontânea

Decídua uterina, 328

Dedução (em ciência), 25

Defecação celular, *ver* lisossomo

Delaminação, 326

Dendrito, 277, *ver também* neurônio

Derme, 241i, 243i, 244, 246

Desenvolvimento embrionário, *ver* embriologia

Desoxirribose, 71, 86, *ver também* glicídio e DNA

Despolarização da membrana plasmática, 294

Deuterostômio, 309

Diacinese, 182, 184i

Diafragma (contraceptivo), 297, 298

Diapedese, 118i

Diblástico, 310

Difosfato de adenosina, *ver* ADP

Difusão facilitada, 116

Difusão simples, 114

Digestão intracelular, *ver* lisossomo

Diploide, 158

Diplóteno, 182, 184i

Disco de Merkel, 247

Disco embrionário, *ver* epiblasto

Disco germinativo, *ver* blastodisco

Disco intercalar cardíaco, 272

Disco Z, *ver* linha Z

Dispositivo intrauterino (ou **DIU**), 297, 299

Dissacarídio, (conceito e fórmula geral), (tipos principais) 71, *ver também* glicídio

DIU, ver dispositivo intrauterino

Divisão celular, ver também mitose e meiose

– conceito e importância, 156, 168

– etapa do ciclo celular, 169

DNA

– composição química e estrutura geral, 220, 221, 224

– descoberta, 220

– duplicação semiconservativa, 223

– localização no cromossomo, 155-156, 224

– material genético, 37, 128

– mitocondrial, 143

– modelo da dupla-hélice, 221

– modelo para o RNA, ver transcrição gênica

– não codificante, 224

DNA polimerase, ver polimerase do DNA

Doença da vaca louca, ver lisossomo e doenças, ver prion

Doença hemorrágica, ver coagulação do sangue

Doença sexualmente transmissível (ou **DST**), 298

Dopamina, ver neurotransmissor

Down, ver síndrome de Down

DST, ver doença sexualmente transmissível

Ducto deferente, 291i, 293, 299

E

Ecologia, 30

Ecossistema, 39

Ectoderma, ver folheto germinativo

Ectoderma primitivo, ver epiblasto

Ectoplasma, 140, ver também movimento ameboide

Einstein, Albert, 27

Ejaculação, 293

Elemento químico, 32, 33, 64

Embolia (ou **invaginação**), 314

Embrião, 306 (anfíbio) 312, (anfíoxo) 315, (ave), 317, (humano), 326, 330, 331, (comparação entre aves e répteis e mamíferos placentários) 327, (em gêmeos) 334-336

Embrioblasto (ou **botão embrionário**), 325, 326

Embriologia, 304, (anfíoxo) 308i, 309i, 314i, 315i, (anfíbio) 308i, 309i, 312i, (répteis e aves) 327i, (mamíferos placentários) 325i, 226, 327i, (da ovulação à nidação) 329i, (principais ocorrências em humanos), 331

Encéfalo, 276, 279, 311

Encefalopatia espongiforme transmissível, ver lisossomos e doenças, ver príons

Endocitose, (conceito) 118, (tipos) 118

Endoderma, ver também folheto germinativo

Endométrio, ver útero

Endomísio, 270

Endoneuro, 282

Endoplasma, 140, ver também movimento ameboide

Energia de ativação, 196, ver também enzima

Envelope nuclear, 153i, 154, (desaparecimento na prófase) 172, (reaparecimento na telófase) 174

Envelope vitelínico, ver zona pelúcida

Envoltório celular externo, ver parede celular e glicocálix

Enzima,

– e doença, 83

– fatores que afetam a atividade, 82

– modo de ação, 81

– nomenclatura, 81

Eosinófilo, 262

Epiblasto (ou **ectoderma primitivo**), 308, 326, 328i

Epiderme, 245

Epidídimo, 291i, 292

Epimísio, 270

Epinefrina (ou **adrenalina**), ver neurotransmissor

Epineuro, 282

Epitélio, ver tecido epitelial

Equidna, ver monotremado

Ergastoplasma, ver retículo endoplasmático granuloso

Eritroblasto, 260

Eritrócito, ver hemácia

Eritropoiese, 260

Esclerose múltipla, 282

Escroto, 291

Esfregaço, ver técnica microscópica

Esmagamento, ver técnica microscópica

Esperma, 293

Espermátide, ver espermatogênese

Espermatócito, ver espermatogênese

Espermatogênese, 292

Espermatogônia, ver espermatogênese

Espermatozoide, (formação do acrossomo) 134

Espermogênese, 292

Espinha bífida, 85, 311

Esplanchnopleura, 313

Esteróide, 74

Estrato mielínico, 277i, 280

Estroma (cloroplasto), 145, 209i, 210

Eucariótico, ver célula eucariótica

Eucromatina, ver cromatina

Euglena, ver plasto

Eutheria, ver placentário

Evolução biológica, 19, 32, 37, 57

Evolução molecular, ver evolução química

Evolução química, 50-51

Exame a fresco, ver técnica citológica

Exocitose, 118, 119

Experimento (em ciência), 25

F

FAD (ou **dinucleotídio de flavina-adenina**), ver ciclo de Krebs

Fagocitose, 118, 119i

Fagossomo, ver fagocitose

Fases da interfase (G1, S, G2 e G0), ver interfase (fases)

Fator de crescimento celular, ver ciclo celular (regulação)

Fecundação, (conceito) 36, (em mamíferos) 290i, 293-294, (in vitro) 296

Fenilcetonúria, 83

Fermentação, ver também glicólise

– alcoólica, 54

– conceito, 54, 205

– importância (na alimentação humana) 206-207,

– tipos (alcoólica e láctica), 205

Fertilização, ver fecundação

Feto, 330, 331

Fibra colágena, 241i, 242i, 246

Fibra cromossômica, ver solenoide

Fibra do áster, ver áster

Fibra do fuso, ver fuso acromático

Fibra elástica, 241i, 242i, 246
Fibra muscular (ver também miócito e mioblasto)
 – estrutura e organização geral, 269, 270
 – origem, 153, 269
 – rápida e lenta, 273-274
Fibra nervosa, ver neurofibra
Fibra reticular, 241i, 246
Fibrina, ver coagulação do sangue
Fibrinogênio, ver coagulação do sangue
Fibroblasto, (ciclo celular) 170, 177, (cicatrização) 168, 177
Fibrócito, 242i, 244
Filamento de actina, ver microfilamento
Filamento intermediário, 139i, 140
Fixação, ver técnica citológica
Fixação do carbono, 211, 212
Fixador, ver técnica citológica (fixação)
Flagelo, 142, 143i
Flagelo bacteriano, 128, 129i
Flavina-adenina-dinucleotídeo, ver FAD
Flemming, W., 95, (desenhos) 171
Folheto embrionário, ver folheto germinativo
Folheto germinativo (ou folheto embrionário), 310,
 (origem dos tecidos), (formação em mamíferos) 326
Folículo ovariano, ver ovário
Folículo piloso, ver pelo
Força vital, 45 (ver também vitalismo)
3-Fosfato de gliceraldeído (ou **PGAL**), 211
Fosfato inorgânico, 197
Fosfolípido, (na membrana plasmática) 112, 113i
Fosforilação oxidativa, 201-203, ver também respiração celular
Fotofosforilação, 211
Fotólise da água, 210
Fotossíntese
 – aspectos gerais, 208, 209
 – conjunto de reações, 211, 212
 – em cianobactérias (equação), 55
 – em sulfobactérias (equação), 55
 – etapa fotoquímica, 212
 – etapa puramente química, 212
 – origem do termo, 208
 – origem evolutiva, 55
 – relação com a respiração aeróbica, 56
Fotossistema, 209i
Foucault, M., 18
Fracionamento celular, 106
Fragmoplasto, 176
FSH, ver hormônio folículo estimulante
Fuso acromático, 172
Fuso mitótico, ver fuso acromático

G

Gambá, ver marsupial
Gameta, (conceito) 36, (formação), ver ovulogênese e espermatogênese
Gametogênese, ver ovulogênese e espermatogênese
Gânglio nervoso, 276
Gás oxigênio
 – evolução na atmosfera, 55
 – na atmosfera atual, 55, 208
 – na fotossíntese, ver fotólise da água
 – na respiração celular, 199, 200, 201, 202
Gastrocela, ver Arquêntero

Gástrula, ver Gastrulação
Gastrulação, 309, 314
GDP (ou **difosfato de guanosina**), 200
Gêmeos dizigóticos (ou **fraternos**), 334, (formação), 334
Gêmeos humanos, 334-337
Gêmeos monozigóticos, 335, (formação), 335, 336
Gêmeos unidos, 337
Gene, ver também alelo
 – conceito e aspectos gerais, 157, 220, 224
 – limites, 226
 – região promotora, 226
 – sequência de término de transcrição, 226
 – supressor de tumor, 178
Genética, 20
Genoma, (conceito) 157, 224
Geração espontânea (teoria da) (ou **abiogênese**), 18, 43
Gestação, ver gravidez
Glande, ver pênis
Glândula
 – bulbo uretral,
 – classificação, 239
 – endócrina, 239
 – exócrina, 239
 – mista, ou anfócrina, 240
 – origem, 240
 – sebácea, 248, 240i
 – seminal, 291i
 – sudorípara, 248, 240i
Gliceraldeído 3-fosfato (ou **PGAL**), ver 3-fosfato de gliceraldeído
Glicerídio, 72, 73
Glicerol, 72, 73i
Glicídio
 – classificação, 70-71
 – fórmula geral, 71
 – funções nos seres vivos, 70
 – produção na fotossíntese, 55, 145, 208, 210, 211, 212
Glicocálix, 113i, 120
Glicogênio, 71, (nas células musculares) 271
Glicólise, 199-200, (resultado líquido) 200, ver também fermentação e respiração celular
Glicose
 – fórmulas (configurações alfa e beta), 34, 71
 – reagente na respiração celular, 195, 195i, 199, 199i
Gliócitos, 277, 279, 280
Glóbulo branco, ver leucócito
Glóbulo polar (ou **corpúsculo polar**), ver ovulogênese
Glóbulo vermelho, ver hemácia
Gnu, ver placentário
Golgi, ver complexo golgiense
Gônada feminina, ver ovário
Gônada masculina, ver testículo
Gonadotrofina coriônica, 329
Gordura, ver lipídio
Gould, Stephen J., 27
Grana, ver granum
Grânulo cortical (do óvulo), 294
Grão de amido, ver leucoplasto
Gravidez (ou **gestação**), 325
Gravidez ectópica, 329
Grupo amina, ver aminoácido
Grupo carboxila, ver aminoácido
Grupo heme, ver hemoglobina
GTP (ou **trifosfato de guanosina**), 200
Guanina, 86, 86i, 221i, ver também ácido nucleico, DNA e RNA

H

Haldane, John B. S., *ver* evolução química
Haploide, (conceito) 158
HDL (*high density lipoprotein*), 75, 76, *ver também* colesterol
Helmont, Jan B. van, *ver* geração espontânea
Hemácia (ou **eritrócito**, ou **glóbulo vermelho**) 256i, 257, 259, 260, (amadurecimento) 258, 258i
Hemicelulose, *ver* parede celular celulósica
Hemofilia, *ver* coagulação do sangue
Hemoglobina, 260, 261, 261i
Hereditariedade, 36, 36i
Heterocromatina, *ver* cromatina
Heterolécito, *ver* ovo (tipo)
Heterotrófico (conceito), 54
Hidrato de carbono, *ver* glicídio
Hill, R., 210
Hímen, 288, 289i
Hipertrofia muscular, 274
Hipoblasto, 326, 328i
Hipoderme, *ver* tela subcutânea
Hipótese (em ciência), 24, 25
Hipótese autotrófica (para a origem da vida), 54
Hipótese endossimbiótica (hipótese simbiótica), 58, 58i
Hipótese heterotrófica (para a origem da vida), 54
Hipótese simbiótica, *ver* hipótese endossimbiótica
Histamina, *ver* mastócito e basófilo
Histologia, 238
Histona, *ver* nucleossomo
Holoblástica, *ver* segmentação (tipos)
Holoenzima, 82
Homero, 44
Homogeneizado celular, 102, 107i
Hooke, Robert, 93, 94
Hormônio, *ver* glândula endócrina
Hormônio folículo estimulante (ou **FSH**), 290
Horowitz, N., 32
Hume, D., 26
Huxley, T., *ver* evolução química

I

Idiograma, 161i
Ihota pancreática, *ver também* pâncreas 240i
Iliada, 44
Imunoglobulina, *ver* anticorpo
Inclusão, *ver* técnica microscópica
Insulina, 112
Interfase, 156, 169, 170, (fases) 169, 170
Interneurônio, 278
Íon, (principais tipos na matéria viva), 67
Irmãos siameses, *ver* gêmeos unidos
Isolécito, *ver* ovo (tipo) 306

J

Janssen, Zacharias e Hans, 93
Joblot, L., 45
Junção tipo gap, 282, 385

K

Kelvin, Lord (William Thomson), *ver* panspermia
Klinefelter, *ver* síndrome de Klinefelter
Koch, R., 48
Krause, *ver* bulbo terminal de Krause
Krebs, H. A., *ver* ciclo de Krebs
Kuru, *ver* lisossomo e doenças, *ver* prion
Kwashiorkor, 79, 80, 80i

L

Lábio dorsal do blastóporo, 309i
Lábio maior, *ver* pudendo feminino
Lábio menor, *ver* pudendo feminino
Lactose, *ver também* Glicídio e Fermentação láctica 71, 71i
Lamarck, J. B., 19, 19i
Lâmina basal, 245i, 246i, 247i
Lâmina nuclear, 154, 154i
Laqueadura tubária (contraceptivo), 300, 300i
LDL (*low density lipoprotein*), 75, 76, *ver também* colesterol e pinocitose
Leeuwenhoek, Antonie van, 45, 45i, 93, 93i
Leptóteno, 181, 184i
Leucemia, *ver* câncer
Leucócito (ou **glóbulo branco**), 256i, 262, 263
Leucoplasto, 145, 146i
Ligação de hidrogênio (ou **ponte de hidrogênio**), 66, 66i
Ligação peptídica, (formação) 67i, 77, 77i
Ligação química, 32
Limite de resolução, 98
Linfa, *ver* tecido linfoide
Linfócito (B e T), 159, 159i, 257, 258i, 262 (na defesa corporal) 263
Linfonodos, *ver* tecido linfoide
Linha primitiva, 326i
Linha Z, 271, 271i
Linhagem germinativa, 292i, 310i
Linhagem somática, 292i
Lipídio, 72-75
Lisossomo
 – e doenças, 137, 138
 – estrutura, 134
 – função, 134, 135, 136
Lister, J., 48
Luz
 – absorção na fotossíntese, 209, 209i, 210
 – ultravioleta (UV), *ver* radiação ultravioleta e raios UVA e UVB 249

M

Macrófago, 244, 263, *ver* DIU
Macrômero, 307, 308i
Macromolécula, 71
Macronúcleo, 153
Malnutrição, 79, 80, 80i
Mamífero, (subclasses) 322, 323
Marasmo, 80, 80i
Marsupial (ou Metatheria), 322
Marsúpio, 322
Mastócito, 244

Material genético, 33, 36, 37, *ver também* genoma, cromatina e cromossomos

Maynard Smith, J., 32

Mayr, E., 32

Medula espinal, 276, 276i, 279, 279i

Medula óssea, *ver* tecido hematopoiético, (originando neurônios)

Megacariócito, 263

Meiose

- comparação com mitose, 180
- conceito, 180
- fases da meiose, 180, 184i
- tipos (espórica, gamética e zigótica) 185, *ver também* ciclo de vida

Meiose I e II, *ver* meiose

Meissner, *ver* corpúsculo de Meissner

Melanina, 246

Melanócitos, 128, 246

Membrana celular, *ver* membrana plasmática

Membrana esquelética celulósica, *ver* parede celular (celulósica)

Membrana intergrana, 145i

Membrana nuclear, *ver* envelope nuclear

Membrana pelúcida, 324, 329i

Membrana plasmática

- função, 113
- organização molecular, 112, 113i
- permeabilidade, 114

Membrana tilacoide, 209, 210

Menstruação, *ver* ciclo menstrual

Merkel, *ver* disco de Merkel

Meroblástica, *ver* segmentação (tipos)

Mesoderma, *ver* folheto germinativo

Mesoderma intermediário (ou **mesômero**), 313i

Metabolismo (conceito), 34, 195

Metacêntrico, *ver* cromossomo, tipos

Metáfase da mitose, 173, 174

Metáfase I da meiose, 182, 183, 184i

Metáfase II da meiose, 183, 184i

Metatheria, *ver* marsupial

Método anticoncepcional, *ver* contracepção

Método contraceptivo, *ver* contracepção

Método do ritmo ovulatório (ou **tabelinha**), 297

Método hipotético-dedutivo (ou **método científico**), 24, 25

Microfilamento, 139i, 140

Micróglia, 280

Micrômero, 307, 314, 314i

Micrometro (unidade de medida), 97

Micronúcleo, 153

Microorganismo, 45

Microscópio

- composto, 93
- de Hooke, 93
- de Leeuwenhoek, 93, 94, 94i
- eletrônico de transmissão, 102, 102i
- eletrônico de varredura, 103, 103i
- óptico, 97, 97i

Micrótomo, 101, 101i

Microtúbulo, 140, 140i, *ver também* cílios e flagelos, fuso acromático e colchicina

Microtúbulo cromossômico, 174i

Microvilosidade, 104i

Mielina, *ver* estrato mielinico

Miescher, J. F., 220

Miller, S. L., 52, 53

Mimosa pudica (ou sensitiva), 35, 35i

Mioblasto, 269

Miócito, 269, 270i

Miofibrila, 269, (organização) 271, 271i, 272

Mioglobina, 271

Miômero, 271, 271i

Miosina, 268, (na contração muscular) 268, 271, 271i, 272i

Mitchell, P., *ver* teoria quimiosmótica

Mitocôndria

- autoduplicação, 144
- estrutura e organização geral, 143
- organização da membrana interna, 202, 202i, *ver também*, cadeia transportadora de elétrons
- origem endossimbiótica, 58, 58i, 59
- papel na respiração celular, 199, 200, 201i

Mitose

- descoberta, 95
- fases, 171i, 172-175, (em raiz de cebola) 175i
- origem do termo, 172

Modelo chave-fechadura, *ver* enzima (modo de ação)

Molécula, 32, *ver também* Vida, níveis de organização

Molécula orgânica, *ver* substância orgânica

Mongolismo, *ver* síndrome de Down

Monócito, 263, 257, 258i

Monossacarídio, *ver também* glicídio

- conceito e fórmula geral, 71
- principais tipos, 71, 71i

Monotremado (ou **subclasse Prototheria**), 322

Mórula, (tipos) 306, 308i

Mosaico fluido (modelo), *ver* membrana plasmática (organização molecular)

Movimento ameboide, 141, 141i

Movimento celular, *ver* ciclose, *ver também* movimento ameboide

Multicelular (pluricelular)

- conceito, 34, 238
- origem evolutiva, 59

Mundo do RNA, *ver* RNA (mundo)

Músculo eretor do pelo, *ver* pelo

Músculo esquelético, 275, *ver também* tecido muscular e exercício físico, 273-275

Mycobacterium tuberculosis, 47

N

N-acetilglucosamina, 71, *ver também* quitina

NAD (ou **dinucleotídio adenina-nicotinamida**), 200

NADP (ou **dinucleotídio adenina-nicotinamida-fosfato**), 210

Nanometro (unidade de medida), 97

Não disjunção cromossômica, *ver* cromossomo (não disjunção)

Nebulosa, 53

Needham, J., 45

Neurofibras, 277

Neuroglia, *ver* gliócito

Neurônio, 277

- tipos estruturais (bipolar, multipolar e pseudobipolar) 277, 277i
- tipos funcionais (sensitivo, motor, associativo ou interneurônio), 278, 278i

Neurotransmissor, 282, 283

Nêurula, 311, 312i, 313i

Neutrófilo, 262

Newton, I., 27, 43

Nicholson, G., *ver* membrana plasmática (organização molecular)

Nicotinamida-adenina-dinucleotídio, *ver* NAD

Nicotinamida-adenina-dinucleotídio-fosfato, *ver* NADP

Nidação, 325, 327, 328i, 329i

Nitrobacter, *ver* quimiossíntese

Nitrosomonas, *ver* quimiossíntese

Níveis de organização, *ver* vida

Nó neurofibroso, 281, 281i

Nó sinoatrial, 282

Nódulo de Ranvier, *ver* nó neurofibroso

Noradrenalina (ou **norepinefrina**), *ver* neurotransmissor

Notocorda, 311, (em anfíbio) 312i, (em anfíoxo) 313i, 315i, (em ave e réptil) 317i

Nucleína, 220

Núcleo celular

- componentes, 153, 154
- comportamento na divisão celular, 153
- conceito, 153
- descoberta e origem do termo, 96, 153
- estrutura e organização geral, 153, 153i

Nucleoide, (definição) 129

Nucléolo, 155, 226, (comportamento nas divisões celulares) 171i, 172, 174, 182, 183

Nucleoplasma, *ver* cariolinfa

Nucleossomo, 155, 156

Nucleotídio, 86i, 87, 87i, *ver também* ácido nucleico, ATP, DNA e RNA

Nutrição orgânica, 208

O

Observação vital, *ver* técnica citológica

Oceano (origem) 50, 51

Óleo, *ver* lipídio

Oligodendrócito, 280, 281i

Oligolécito, *ver* ovo (tipo)

Oligopeptídio, *ver* peptídio

OGM, *ver* transgênicos

Oncogene, 178

Oparin, A. I., 51, *ver também* evolução química

Orceína, 100i, 175i, 185i

Organela citoplasmática (*ver* citoplasma de células eucarióticas) (*ver também* vida, níveis de organização)

Organismo geneticamente modificado (ou **OGM**), *ver* transgênicos

Órgão, 34, 38

Ornitorrinco, *ver* monotremado

Osmose, 115, 116, (modelo físico) 115

Osso, (reservatório de cálcio) 252, (regeneração de fratura) 252, *ver* tecido ósseo

Osteoblasto, 251i, 252

Osteócito, 251i, 252

Osteoclasto, 252, 263

Osteomalácia, 252

Osteônio, 251, 251i

Osteoporose, 252

Ovário, 289

Oviduto, *ver* tuba uterina

Ovíparo, 316

Ovo, (tipos) 306, 307, (de anfíbio) 306, 308i, (de ave e réptil) 307, 308i, (de mamífero) 306

Ovócito, *ver* ovulogênese

Ovogônia, *ver* ovulogênese

Ovulação, 290

Óvulo, *ver* ovulogênese

Ovulogênese (ou ovogênese), 289, 290, 292i

Oxidação, *ver* reação de oxirredução

Oxidase, *ver* catalase

Oxiemoglobina, 260

Oxigênio, *ver* gás oxigênio

P

Paccini, *ver* corpúsculo de Paccini

Pâncreas, 240, *ver* glândula mista

Panspermia, 50

Paquíteno, 181, 184i

Paramecium, 36i

Parasitas intracelulares, *ver* vírus

Parede celular, (bacteriana), 120, (celulósica) 121, 121i, (primária e secundária) 121, 121i

Parto, 332

Pasteur, L.,

- doença das lagartas da seda, 48
- experimentos sobre biogênese, 46, 47
- raiva, 49

Pasteurização, 29, 47

Pectina, *ver* parede celular celulósica

Pele humana,

- anexos, 248
- camadas, 245, 246
- cuidados com, 249, 250
- funções, 244, 247

Pelo, 248, 248i

Pênis, 291

Peptídio, 77, 78

Peptidioglicano, *ver* parede celular bacteriana

Pericôndrio, *ver* tecido cartilaginoso

Perímio, 270

Perineuro, 282

Período fértil (da mulher), *ver* método do ritmo ovulatório

Periosteio, 252

Permeabilidade celular, 114-117

Permeabilidade seletiva, *ver* permeabilidade celular

Permease, 116, *ver* difusão facilitada

Permutação cromossômica (*crossing-over*), 181, 182, 182i

Peroxissomo, 136

PGAL, *ver* 3-fosfato de gliceraldeído

Pílula anticoncepcional, 299

Pílula do dia seguinte (contraceptivo), *ver* pílula anticoncepcional

Pinocitose, 119

Pinossomo, *ver* pinocitose

Piruvato, *ver* ácido pirúvico

Placa celular, *ver* citocinese

Placa equatorial, *ver* placa metafásica

Placa metafásica, 173, 173i

Placa neural, 311, (em anfíbio) 312i, (em anfíoxo) 315i

Placenta, 323, (formação) 330, 330i, (expulsão no parto) 332, 332i

Placenta vitelínica, 323

Placentário (ou **Eutheria**), 323

Planeta (origem), 50

Plaqueta sanguínea (ou **trombócito**), 263, 263i, 264

Plasma sanguíneo, 256, 259

Plasmídio, (definição) 129

Plasmócito, 244
Plasmodesmo, 122, 122i
Plasto
 – autoduplicação, 145, 146
 – classificação (cromoplastos e leucoplastos), 144, 145
 – estrutura e função, 145, 145i
 – origem endossimbiótica, 58, 58i, 59
Pluricelular, *ver* multicelular
Poder de resolução, 98
Polimerase do DNA, 223
Polimerase do RNA, 225, 226
Poli-peptídio, *ver* peptídio
Polirribossomo, 231
Polissacarídio (*ver também* glicídio) 71
Polissomo, *ver* polirribossomo
Polo animal (do ovo), 306, 307
Polo vegetativo (do ovo), 306, 307
Ponte de hidrogênio, *ver* ligação de hidrogênio
Popper, K., 24, 26
População biológica, 39
Poros nuclear, 154
Preservativo (contraceptivo), *ver* camisinha
Prion, 138
Prófase da mitose, 172, 173i, 175i
Prófase I da meiose, 181, 182, 184i
Prófase II da meiose, 183, 184i
Prometáfase, 174
Promotor, *ver* gene (região promotora)
Pronúcleo (masculino e feminino), 295
Proplasto, 146, 146i
Próstata, 293
Proteína
 – arquitetura (estruturas primária, secundária, terciária e quaternária) 77, 78
 – descoberta, 76
 – desnaturação, 78
 – funções, 80
 – proteína p53, 179
 – simples e conjugada, 82
 – síntese, *ver* tradução gênica
Protostômio, 309
Prototheria, *ver* monotremado
Protrombina, *ver* coagulação do sangue
Pseudópode, 141, 118
Ptialina, *ver* amilase salivar
Pudendo feminino, 288

Q

Queratina (na pele), 245
Quiasma, 182, 182i, 183
Quilocaloria, 194
Química orgânica, 64
Quimiolitoautotrófico, 54, 55
Quimiossíntese, 213
Quitina, 70, 71

R

Radiação ultravioleta, 246, 249
Radioautografia, *ver* técnica citológica
Raios UVA e UVB, 249
Raiva, *ver* Pasteur, Louis

Raiz de cebola, *ver* técnica citológica (esmagamento)
Raquitismo, 249, 252
Reação de claro, *ver* fotossíntese, etapa fotoquímica
Reação de degradação, *ver* catabolismo
Reação de escuro, *ver* fotossíntese, etapa puramente química
Reação de hidrólise, 66
Reação de Hill, *ver* fotólise da água na fotossíntese
Reação de oxirredução, 205
Reação de síntese, *ver* anabolismo
Reação endergônica, 195
Reação exergônica, 195
Redi, F., 44
Redução, *ver* reação de oxirredução
Região promotora, *ver* gene
Reprodução, (assexuada) 36, (humana) 287, (sexuada) 36, (tipos) 36
Respiração aeróbica, *ver* respiração celular
Respiração celular
 – conceito, 199
 – etapas, 199, *ver também* glicólise, cadeia respiratória, ciclo de Krebs e fosforilação oxidativa
 – origem evolutiva, 56
 – relação com a fotossíntese, 213
 – rendimento energético, 203
Retículo endoplasmático granuloso, (estrutura) 131, 131i, (função) 131
Retículo endoplasmático não granuloso, (estrutura) 131, 131i, (função) 132
Retículo sarcoplasmático, 271
Reticulócito, 260, 261i
Retinal, *ver* carotenoide
Ribose, *ver* glicídio e RNA
Ribossomo, 128, *ver também* tradução gênica
 – alvo de antibióticos, 128
 – das células procarióticas, 128, 129, 129i
 – local de formação, 155, 226
 – papel na síntese de proteínas, 131
 – sítios A e P, 229, 229i
Ribozimas, 53
RNA
 – como material genético, 37
 – composição e estrutura geral, 86, 86i, 87
 – mensageiro (RNAm), 227
 – mundo, 53, *ver também* evolução química
 – papel na síntese de proteínas, 224
 – síntese a partir do DNA, *ver* transcrição gênica
 – ribossômico (RNAr), 226
 – transportador (RNAt), 226
Rubisco, 212
Ruffini, *ver* terminal de Ruffini

S

Sacarose ou açúcar de cana, 71, (hidrólise) 67i, (síntese na fotossíntese) 213
Saccharomyces cerevisiae, 206, *ver também* fermentação alcoólica
Saco vitelínico (ou **vesícula vitelínica**), 316
Sal mineral, 65, 67
Sangue, 256
Sarcolema, 270
Sarcoma, *ver* câncer
Sarcômero, *ver* miômero

Schleiden, M., 94, 95
Schwann, T., 94, 95
Secreção celular, 132
Segmentação (ou **clivagem**), 306, (tipos) 307, 308, 308i, (em mamíferos) 324
Seleção natural, 37
Sêmen, *ver* esperma
Semipermeável, *ver* permeabilidade seletiva
Sensitiva, *ver* *Mimosa pudica*
Sequência de término de transcrição, *ver* gene
Serosa, *ver* cório
Serotonina, *ver* neurotransmissor
Siclemia (anemia falciforme), 261
Silicose, *ver* lisossomo e doenças
Simbiose, 58
Sinapse cromossômica, 181
Sinapse nervosa, 282, (elétrica) 282, (química) 282, 283, (neuromuscular) 282
Sincício, 269
Sinciciotrofoblasto, 328, 328i
Síndrome de Down, 161, relação com idade materna, 186
Síndrome de Klinefelter, 162
Síndrome de Turner, 161
Singer, S. J., *ver* membrana plasmática (organização molecular)
Síntese por desidratação, 67i
Síntase do ATP, 202, 202i
Sistema genital feminino, 288, 290
Sistema genital masculino, 291, 293
Sistema nervoso, *ver* tecido nervoso
Sistema, 38
Solenoide, 156
Solução (conceito), 115, (hipertônica, isotônica e hipotônica) 115
Solução aquosa, 115
Soluto, 115
Solvente, 115
Somatopleura, 313
Spallanzani, L., 45
***Spirogyra* sp.**, 144i
Submetacêntrico, *ver* cromossomo (tipos)
Subnutrição, 79, 80
Substância branca, 279, *ver também* tecido nervoso
Substância cinzenta, 279, *ver também* tecido nervoso
Substância orgânica
 – composição, 64
 – conceito, 64
 – porcentagem na matéria viva, 65
 – principais tipos na matéria viva, 32
Substrato enzimático, 81
Suor, *ver* glândula sudorípara

T

Tabelinha, *ver* método do ritmo ovulatório
Tay-Sachs (doença de), *ver* lisossomo e doenças
Tecido (*ver também* vida, níveis de organização)
 – adiposo, 243
 – cartilaginoso, 250, 251
 – conceito, 238
 – conjuntivo, 241-244, (classificação) 242, (tipos celulares) 241
 – embrionário de mamíferos, 326
 – epitelial de revestimento, 238, (classificação), 238, 239i

– epitelial glandular, 239, 240
 – extraembrionário de mamíferos, 327
 – hematopoiético, 252, 257
 – muscular, (tipos) 268, (estriado esquelético) 268, 269, 270i, (estriado cardíaco) 272, 272i, (não estriado, ou liso) 273, 273i
 – nervoso, 276, 277
 – ósseo, 251, 251i, 252
 – origem embrionária, 326
 – sanguíneo, (composição) 259-264, *ver* sangue
 – tipos principais nos animais, 238
Técnica citológica
 – coloração, (microscopia óptica) 99, (microscopia eletrônica) 104
 – corte histológico, 100, (microscopia eletrônica) 104
 – corte manual, 100
 – esfregaço, 99, 100
 – esmagamento, 100
 – fixação, (microscopia óptica) 99, (microscopia eletrônica) 103
 – inclusão, (microscopia óptica) 101
 – observação vital, 98
 – radioautografia, 107
Tecnologia (conceito), 29
Tela subcutânea (ou **hipoderme**), 243, 245i, 246, 248
Telocêntrico, *ver* cromossomo (tipos)
Telófase da mitose, 174, 175i (em raiz de cebola)
Telófase I da meiose, 183, 184i
Telófase II da meiose, 183, 184i
Telolécito, *ver* ovo (tipo)
Telomerase, *ver* telômero
Telômero, 157
Tendão calcâneo, 243i
Teoria, (conceito) 27
Teoria celular, 94, 95
Teoria Evolucionista, *ver* Evolução biológica
Teoria quimiosmótica, 203
Teratopago, *ver* gêmeos unidos 247, 247i
Terminal de Ruffini, 247, 247i
Terra, (atmosfera primitiva) 52, 52i, (condições primitivas) 51, 51i
Teste de gravidez, *ver* gonadotrofina coriônica
Testículo, 291, 291i, 292i
Tétrade, *ver* bivalente
Tilacoide, 209, 209i, 210
Timina, 86, 86i, 220, 221i, 222, *ver também* ácido nucleico, DNA
Timo, 258
Tonoplasto, 139
Tônus muscular, 275
Tradução gênica, 228, 228i
 – crescimento da cadeia polipeptídica, 229
Transcrição gênica, 224, 225
Transgênico, 30
Transporte ativo (conceito) 114, (tipos) 116-117
Transporte de elétrons, *ver* cadeia transportadora de elétrons
Transporte passivo (conceito) 114, (tipos) 114-116
Trapoeraba-roxa, 98i
Trato nervoso, 279
Triblástico, 310
Trifosfato de adenosina, *ver* ATP
Trissomia do cromossomo 21, *ver* síndrome de Down
Trofectoderma, *ver* trofoblasto

Trofoblasto (ou **trofotoderma**), 325, 326
Trombina, ver coagulação do sangue
Trombócito, ver plaqueta sanguínea
Tromboplastina, ver coagulação do sangue
Tuba uterina, 289
Tuberculose, ver Koch, Robert
Tubo nervoso (origem embrionária), 311, (em anfíbio) 312, (em anfíoxo) 313, 315, (em ave), 317
Tubulina, ver microtúbulo
Túbulo seminífero, ver testículo
Túbulo T, 270i, 271
Tumor benigno, 178
Tumor maligno, ver câncer
Turner, ver síndrome de Turner

U

Ultravioleta, ver radiação ultravioleta
Unha, 248
Unicelular, 34
Unidade de medida microscópica, 97
Uracila, 86, ver também ácido nucleico e RNA
Uretra, 288, 291
Urey, H., ver Miller, Stanley L.
Útero, 288, 291i
Uv, ver radiação ultravioleta

V

Vacinação, ver antraz
Vacúolo
 – autofágico, ver lisossomo
 – da célula vegetal (organização) 139, (formação) 139
 – digestivo, ver lisossomo
 – heterofágico, ver lisossomo
 – pulsátil, 115
 – residual, ver lisossomo, ver também exocitose
Vagina, 288, 289i

Variabilidade genética, 37, ver reprodução sexuada e meiose

Vasectomia (contraceptivo), 299

Verdade em ciência, 25, 26

Vesícula seminal, ver glândula seminal

Vesícula vitelínica, ver saco vitelínico

Vestíbulo vaginal, ver pudendo feminino

Vida (conceito), 32

– diversificação e evolução, 57

– níveis de organização, 38, 39i

– primeiros vestígios, 52

Vilosidade coriônica, 327i, 329

Virchow, Rudolf, 95

Vírus, 34, (e a teoria celular) 95

Vitamina

– conceito, 84

– descoberta, 84

– hidrossolúvel e lipossolúvel, 84, 85

– principais sintomas de deficiência, 85

Vitamina A, (na formação dos ossos) 252, ver carotenoide

Vitamina C, (relação com colágeno) 252, (na formação dos ossos), 252

Vitamina D, ver raquitismo

Vitamina K, ver coagulação do sangue

Vitelo, ver ovo (tipo)

W

Wallace, A., 37

Watson, J., 220, 221i, 223

Z

Zigóteno, 181, 184i

Zigoto, (conceito) 158, (formação) ver fecundação

Zona de oclusão, 325

Zona pelúcida, (liberação do embrião) 290, 293, 324, 327

Zoologia, 20